

FRANCIELE REYNAUD

**DESAGREGAÇÃO ESPACIAL ESTATÍSTICA DA CHUVA PREVISTA PELO
MODELO ATMOSFÉRICO WRF**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Recursos Hídricos e
Ambiental do Setor de Tecnologia da
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientadora: Prof^a. Dra. Miriam Rita
Moro Mine**

CURITIBA

2008

FRANCIELE REYNAUD

**DESAGREGAÇÃO ESPACIAL ESTATÍSTICA DA CHUVA PREVISTA PELO
MODELO ATMOSFÉRICO WRF**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Recursos Hídricos e
Ambiental do Setor de Tecnologia da
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientadora: Prof^a. Dra. Miriam Rita
Moro Mine**

CURITIBA

2008

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar e me dar forças para superar as dificuldades encontradas, pois sem Ele não sou ninguém;

Ao meu esposo Wilson pelo carinho, amor, companheirismo, confiança, por sempre me incentivar e ajudar em todos os momentos;

Aos meus pais Beatriz e Zenio, pela educação e apoio, sem dúvida parte fundamental da minha vida, e as minhas irmãs Franceline e Francine, por acreditarem na minha capacidade;

À minha orientadora professora Miriam Rita Moro Mine, pelos conselhos, sugestões, esclarecimentos, orientação e e-mails respondidos, mesmo que fosse domingo;

Aos professores Augusto José Pereira Filho, Eloy Kaviski e Alexandre K. Guetter por participarem da banca de avaliação desta dissertação;

Aos professores do programa de mestrado, em especial ao professor Eloy Kaviski, pelas valiosas dicas e sugestões que muito ajudaram no desenvolvimento deste trabalho;

Ao pesquisador Leonardo Calvetti do SIMEPAR, pela ajuda na caracterização de chuvas;

Aos colegas de mestrado Ângelo Breda e Alex Conselvan de Oliveira pela obtenção das chuvas observadas e das previsões de chuva, junto ao instituto SIMEPAR;

Aos amigos do mestrado Mariane, Raquel, Michael, Priscila, Ângelo, Jonas, Carla e Luiz, por compartilhar momentos de aprendizado e descontração;

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento e a Coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR pelo apoio e confiança;

Ao CNPq pelo apoio financeiro através do edital CT-Hidro;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO	1
1 – JUSTIFICATIVA.....	3
2 – OBJETIVOS	4
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 – PRECIPITAÇÃO – FORMAÇÃO E TIPOS	5
3.1.1 – Formação das Precipitações	5
3.1.2 – Tipos de Precipitação	6
3.2 – DESAGREGAÇÃO ESPACIAL	7
3.2 – MODELO ATMOSFÉRICO WRF.....	10
4 – MÉTODO DE SKAUGEN	14
4.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	14
4.2 – COBERTURA COMPLETA	17
4.3 - COBERTURA PARCIAL	17
5 – ESTUDO DE CASO.....	19
5.1 – ÁREA DE ESTUDO	19
5.2 – COMPARAÇÃO DAS PREVISÕES COM CHUVAS OBSERVADAS.....	20
5.2.1– Previsão de Precipitação	21

5.2.2 – Estações Telemétricas	23
5.2.3 – Análise dos Dados.....	24
5.3 – ESQUEMA DE DESAGREGAÇÃO	34
5.3.1 - Descrição Geral do Procedimento de Desagregação	34
5.3.1.1 - Desagregação de uma célula da malha	34
5.3.1.2 - Desagregação do campo de precipitação.....	35
5.3 - DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCEDIMENTO DE DESAGREGAÇÃO..	36
5.4 – APLICAÇÃO DO ESQUEMA DE DESAGREGAÇÃO.....	37
6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS DA DESAGREGAÇÃO	43
6.1 – ANÁLISE DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	43
6.2 - COMPARAÇÃO COM VALORES OBSERVADOS	49
6.3 - CORRELAÇÃO ESPACIAL	51
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
APÊNDICE A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA	61
APÊNDICE B – EXEMPLO E CÓDIGOS FONTES UTILIZADOS	71
APÊNDICE C – MAPAS DOS EVENTOS DE CHUVA.....	83
APÊNDICE D – GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO ESPACIAL.....	105

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SISTEMA η DE COORDENADAS VERTICAIS	13
FIGURA 2 – BACIA DO RIO IGUAÇU EM UNIÃO DA VITÓRIA.....	19
FIGURA 3 – RELEVO DA BACIA DO RIO IGUAÇU EM UNIÃO DA VITÓRIA ...	20
FIGURA 4 – BACIA DO RIO IGUAÇU COM PONTOS DE PREVISÃO INTERPOLADOS PELO GrADs	22
FIGURA 5 – ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS NA BACIA DO RIO IGUAÇU.....	23
FIGURA 6 – CHUVA OBSERVADA E PREVISÕES	26
FIGURA 7 – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CURITIBA	30
FIGURA 8 – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA FRAGOSOS	32
FIGURA 9 – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA SÃO BENTO	33
FIGURA 10 – PONTOS ESCOLHIDOS PARA O ESQUEMA DE DESAGREGAÇÃO	38
FIGURA 11 – EVENTO DE CHUVA EM 04/01/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS.....	40
FIGURA 12 – EVENTO DE CHUVA EM 01/10/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS – CHUVA FRONTAL	41
FIGURA 13 – EVENTO DE CHUVA EM 22/01/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS – CHUVA CONVECTIVA	41
FIGURA 14 – COMPARAÇÃO ENTRE A MÉDIA DO MODELO WRF E DO MÉTODO DE SKAUGEN.....	46
FIGURA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE O DESVIO PADRÃO DO MODELO WRF E DO MÉTODO DE SKAUGEN.....	47
FIGURA 16 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES MÁXIMOS DO MODELO WRF E DO MÉTODO DE SKAUGEN.....	48
FIGURA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES MÍNIMOS DO MODELO WRF E DO MÉTODO DE SKAUGEN.....	48
FIGURA 18 – COMPARAÇÃO ENTRE A CHUVA MÉDIA OBSERVADA E A CHUVA MÉDIA DESAGREGADA COM HP=24h.	50
FIGURA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE A CHUVA MÉDIA OBSERVADA E A CHUVA MÉDIA DESAGREGADA COM HP=48h.	51
FIGURA 20 – CORRELAÇÃO ESPACIAL – 01/10/2005 HP=24h.....	53

FIGURA 21 – CORRELAÇÃO ESPACIAL – 22/01/2006 HP=24h.....	53
FIGURA 22 – CORRELAÇÃO ESPACIAL – 29/10/2005 HP=24h.....	54
FIGURA 23 – CORRELAÇÃO ESPACIAL – 17/12/2005 HP=24h.....	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS E DOS PONTOS DE PREVISÃO	24
TABELA 2 – ESTATÍSTICAS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E DO MODELO WRF	25
TABELA 3 – ANÁLISE QUALITATIVA – CHUVA ACUMULADA 12 HORAS	27
TABELA 4 – ANÁLISE QUALITATIVA – CHUVA ACUMULADA 24 HORAS	28
TABELA 5 – CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS ESCOLHIDOS	38
TABELA 6 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EVENTOS COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS.....	44
TABELA 7 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EVENTOS COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS.....	45
TABELA 8 – CHUVA MÉDIA NA ÁREA DESAGREGADA.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARW	<i>Advanced Research WRF</i>
CAPS	<i>Center for Analysis and Prediction of Storms</i>
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FORTRAN	<i>Formula Translation</i> (Linguagem de Programação com Objetivos de Computação Numérica
GCM	<i>General Circulation Model</i>
GFS	<i>Global Forecast System</i>
GIS	Sistema de Informação Geográfica
GrADs	<i>Grid Analysis and Display System</i>
HIRLAM	<i>High Resolution Limited Area Model</i>
HP	Horizonte de Previsão
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i> (Ambiente de Computação Técnica de Alto Desempenho em Cálculo Numérico e Visualizações
MBAR	Modelo Brasileiro de Alta Resolução
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NMM	<i>Nonhydrostatic Mesoscale Model</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NRL	<i>Naval Research Laboratory</i>
<i>Pixel</i>	<i>Picture Element</i>

PR	Paraná
SIMEPAR	Instituto Tecnológico SIMEPAR
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
WRF	<i>Weather Research and Forecasting</i>
WRFSI	<i>WRF Standard Initialization</i>
WSF	<i>WRF Software Framework</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

a_τ	área com altura de precipitação correspondente a τ (mm)
A	área da célula
b	intensidade mínima de precipitação
c_p	capacidade calorífica do ar seco para pressão constante
c_v	capacidade calorífica do ar seco para volume constante
d_{ix}	distância entre dois pontos de grade
e	exponencial; erro padrão das médias (capítulo 6)
$E(z)_A$	esperança de z na célula A
F	termos forçantes para U , V , W e Θ
$f(z)$	função densidade de probabilidade
$F(z)$	função distribuição acumulada
h_τ	área fracional reduzida
h_x	intensidade de chuva
$h^*(x)$	combinação linear
I_τ	função indicador
$m(z)_A$	precipitação média na célula A
n	número de simulações (capítulo 6)
$N(h)$	número de pares distanciados por h
p	pressão (capítulo 3); fração da célula com precipitação positiva
p_0	pressão de referência à nível do mar
Q_m	variável genérica de umidade acoplada
R_d	constante do gás para o ar seco
Δt	intervalo de tempo

u	componente horizontal da velocidade na direção x
U	componente horizontal da velocidade acoplada na direção x
v	componente horizontal da velocidade na direção y
\mathbf{v}	vetor velocidade tridimensional (u, v, w)
V	componente horizontal da velocidade acoplada na direção y
\mathbf{V}	vetor velocidade acoplada tridimensional (U, V, W)
$var(z)$	variância de z
w	componente vertical da velocidade
W	componente vertical da velocidade acoplada
$z(x)$	precipitação acumulada no ponto x
z'	série de precipitação incluindo pontos de precipitação iguais a zero
$\mathbf{Z}[\mathbf{i}]$	campo desagregado
α	inverso da densidade do ar
γ	relação entre a capacidade de calor para o ar seco para pressão e volume constantes
$\gamma(h)$	semi-variograma
θ	temperatura potencial
Θ	temperatura potencial acoplada
λ	parâmetro da distribuição exponencial
$\lambda_i(x)$	pesos da combinação linear
μ	diferença da pressão hidrostática entre as superfícies inferior e superior
σ	desvio padrão
τ	intensidade discreta de chuva
$\Delta\tau$	intervalo de intensidades discretas

ϕ	geopotencial
ϕ'	perturbação geopotencial
Φ	variável genérica

RESUMO

O método de desagregação espacial de Skaugen foi aplicado para desagregar chuvas previstas pelo modelo atmosférico de previsão numérica WRF – *Weather Research and Forecasting* – para uma área dentro da bacia do rio Iguaçu, localizada no estado do Paraná, Brasil. Esta bacia tem uma grande importância para o sistema elétrico brasileiro. O método de desagregação estatístico propõe que a dependência espacial é mantida por interpolação e que a precipitação é exponencialmente distribuída, podendo ter dois ou três parâmetros dependendo se a cobertura de chuva nas células forem intermitentes ou completas, respectivamente. Os resultados encontrados foram satisfatórios, sendo mantida a média da malha e o desvio padrão, além dos valores do erro padrão das médias terem sido pequenos, indicando uma simulação estável. A correlação espacial foi analisada, sendo que os eventos desagregados mantiveram a estrutura de correlação das previsões do modelo WRF.

Palavras-chave: precipitação, desagregação espacial, distribuição exponencial, modelo WRF.

ABSTRACT

The method of spatial disaggregation developed by Skaugen was applied to disaggregate forecast precipitation from WRF forecast model – Weather Research and Forecasting – for an area in the Iguazu river basin, located in the state of Paraná, Brazil. This basin is of a great importance to the Brazilian electrical system. The method of statistical disaggregation considers that the spatial dependence are maintained by an interpolation procedure and the precipitation is exponentially distributed, being able to have a two or three parameters depending if the rainfall covering on the cell will be partial or complete, respectively. The results are satisfactory, the grid average and the standard deviation, beyond the values of the standard errors of the mean were small, indicating a stable simulation procedure. The spatial correlation was analyzed, where the disaggregated events had kept the structure of the correlation of WRF forecast model.

Key words: precipitation, spatial disaggregation, exponential distribution, WRF model.

INTRODUÇÃO

Os processos meteorológicos e hidrológicos normalmente são descritos em escalas diferentes. Esta discrepância nas escalas espaciais requer dos pesquisadores estudos para definição de métodos para desagregar a informação meteorológica. Alguns modelos meteorológicos de mesoescala utilizados no Brasil, tais como o MBAR - Modelo Brasileiro de Alta Resolução, utilizado pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, e o Modelo ETA, utilizado pelo CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos usam malhas de tamanho 25 km x 25 km e 40 km x 40 km (HAAS *et al.* 2003) respectivamente. No entanto, os modelos hidrológicos trabalham à escala da bacia hidrográfica ou em unidades da resposta hidrológica, sejam eles semi-distribuídos ou distribuídos.

A dificuldade no desenvolvimento de modelos hidrológicos está na distribuição da rede de monitoramento dentro das bacias hidrográficas. As estações pluviométricas são poucas e mal distribuídas, comprometendo a análise de eventos para aplicação nesses modelos. Com isso, faz-se necessário o estudo de outros meios para determinar, com maior precisão, a chuva dentro da bacia hidrográfica.

Para que a chuva prevista pelos modelos atmosféricos seja apropriada para os modelos hidrológicos é importante ter um esquema de desagregação que transforme os valores das malhas de previsão de chuva em escalas menores, sem que se atenuem excessivamente os picos de chuva. Assumindo que a tecnologia de previsão de chuva esteja bem calibrada para que não gere falsos alarmes ou ainda, que deixe de prever eventos importantes que possam atingir a bacia.

O procedimento de desagregação das previsões de chuva provenientes de modelos atmosféricos, proposto por SKAUGEN (2002) é um sistema dinâmico não linear e foi aplicado pelo autor para desagregar campos de precipitação fornecidos pelo modelo *High Resolution Limited Area Model*, HIRLAM (DNMI, 1996) que opera numa malha de 11 km x 11 km. As chuvas foram desagregadas para serem utilizadas como dados de entrada para um modelo hidrológico distribuído, operando na resolução de 1,1 km x 1,1 km. Para esta dissertação foi utilizado, no lugar do modelo HIRLAM, o

modelo WRF - *Weather Research and Forecasting* (SKAMAROCK *et al*, 2005), que usa malhas de 15 km x 15 km. O estudo de caso foi realizado para uma área dentro da bacia do rio Iguaçu, localizada nos estados do Paraná e Santa Catarina, Brasil. A resolução espacial escolhida para desagregação é de 0,75 km x 0,75 km.

Em geral, sistemas dinâmicos não-lineares podem exibir comportamentos irregulares. A evolução desses sistemas é influenciada por vários fatores, parecendo razoável que sejam considerados como imprevisíveis (Kaplan & Glass, 1995). Sempre que se utilizam modelos ou métodos que possuem as características descritas, como no caso do método de desagregação espacial de Skaugen, é necessário que sejam realizadas investigações numéricas, para que seja possível desenvolver uma intuição sobre a representatividade do modelo ou método ao estudo de caso em questão.

Esta dissertação está dividida em seis itens. Inicialmente, o capítulo 1 apresenta a justificativa pela escolha do tema, no capítulo 2 são traçados os objetivos almejados. A revisão bibliográfica está apresentada no capítulo 3, de forma a demonstrar alguns trabalhos desenvolvidos sobre o mesmo tema; também traz alguns conceitos necessários para o entendimento e a descrição do modelo atmosférico usado neste trabalho. No capítulo 4 está a descrição do método de desagregação utilizado. O estudo de caso, com a bacia hidrográfica utilizada para a comparação da chuva observada com as previsões do modelo atmosférico e a aplicação do método de desagregação encontra-se no capítulo 5. Finalizando, o capítulo 6 com a análise dos resultados do método de desagregação.

1 – JUSTIFICATIVA

As previsões de precipitação através de modelos numéricos de previsão de chuva, importantes para a previsão hidrológica, têm baixa resolução. Os modelos globais têm resoluções típicas da ordem de centenas de quilômetros quadrados, devido à alta demanda de recursos computacionais. Embora tal resolução seja eficiente para muitos propósitos, a utilização prática das informações obtidas nessas simulações, para fins hidrológicos, necessita de uma resolução bem maior, mesmo considerando-se previsões obtidas de modelos de mesoescala que são da ordem de dezenas de quilômetros quadrados (MINE, 1998; HAAS *et al.* 2003).

Logo, aprofundar os conhecimentos a respeito da variabilidade espacial da chuva trabalhando com chuvas previstas nos modelos atmosféricos desagregadas para a escala da bacia hidrográfica é de grande importância para solucionar muitos problemas de Hidrologia tais como: i) determinação do hidrograma de projeto de obras hidráulicas; ii) desenvolvimento de sistemas de previsão de vazões de curtíssimo prazo para o controle de cheias urbanas; iii) desenvolvimento de sistemas de previsão de afluências de curto prazo para operação hidráulica de reservatórios, buscando otimizar objetivos conflitantes; iv) sistemas de previsão de vazões de médio e longo prazo para planejamento energético; v) análise comparativa entre a eficiência dos modelos distribuídos quando comparados aos concentrados; vi) estudo das características dos campos de precipitação; vii) ampliação do alcance das previsões hidrológicas para diversos propósitos.

2 – OBJETIVOS

Esta dissertação tem por objetivo principal desagregar previsões de chuva do modelo de previsão atmosférica de mesoescala WRF – *Weather Research and Forecasting* para a escala da bacia hidrográfica utilizando o método proposto por SKAUGEN (2002) e verificar seu desempenho, uma vez que o método é um sistema dinâmico não linear.

Tendo em vista ser o WRF um modelo atmosférico implantado há pouco tempo no Paraná, outro objetivo é verificar seus resultados, comparando-os com valores observados na rede telemétrica de superfície.

Salienta-se que não é objetivo da dissertação fazer a consistência das previsões de chuva do modelo atmosférico, corrigindo-as, mas sim aproveitar a oportunidade para comparar seus resultados em termos qualitativos.

Para atingir os objetivos gerais propostos os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos:

- i) Coleta de dados de precipitação observada na rede telemétrica de superfície;
- ii) Coleta de previsões de chuva do modelo WRF;
- iii) Comparação entre as informações obtidas nos itens acima;
- iv) Seleção de eventos de precipitação prevista pelo WRF para serem desagregados;
- v) Escolha da área a ser considerada;
- vi) Desenvolvimento de programa computacional para o algoritmo de desagregação;
- vii) Desagregação dos eventos selecionados para a escala da bacia hidrográfica;
- viii) Análise dos resultados.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – PRECIPITAÇÃO – FORMAÇÃO E TIPOS

A precipitação compreende todas as formas de umidade emanadas da atmosfera e depositadas na superfície terrestre como a chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Porém, quando se trata de hidrologia, apenas a chuva e a neve são importantes. Como no Brasil não é comum a ocorrência de neve, nesta seção apenas será tratada a ocorrência de precipitação em forma de chuva.

A chuva, no Brasil, é o principal elemento da maioria dos projetos hidrológicos. Os problemas de engenharia relacionados com hidrologia são causados em consequência de chuvas de grande intensidade ou da ausência de chuva em longos períodos de estiagem.

As principais características de chuva são o seu total, duração e distribuição temporal e espacial, e a análise dos dados de precipitação é, em geral, estatística.

3.1.1 – Formação das Precipitações

A umidade atmosférica é o elemento básico para a formação das precipitações, porém a sua presença não é suficiente; são necessários outros requisitos para a ocorrência de chuva, como o resfriamento do ar, a presença de núcleos para a condensação e o crescimento dos hidrometeoros.

A formação da precipitação dá-se da seguinte maneira: o ar úmido das camadas baixas da atmosfera é aquecido, tornando-se mais leve que o ar das camadas vizinhas e sofre uma ascensão adiabática, ocorrendo a expansão e o resfriamento até atingir o nível de condensação. Então, em condições favoráveis e com a existência de núcleos, o vapor d'água condensa, formando minúsculas gotas em torno deste núcleos. Para vencer a resistência do ar elas passam por um processo de crescimento por coalescência e/ou de condensação até que a gota atinja o tamanho suficiente para precipitar (VILLELA e MATOS 1975).

O processo de coalescência, nada mais é do que o aumento do tamanho das gotas das nuvens pela colisão, provocada pelo deslocamento das gotas devido a movimentos turbulentos do ar.

3.1.2 – Tipos de Precipitação

As precipitações podem ser classificadas de acordo com as condições que produzem o movimento vertical das massas de ar.

a. Precipitações Ciclônicas: São associadas com o movimento de massas de ar de regiões da alta pressão para regiões de baixa pressão. Essas diferenças são causadas por aquecimento desigual da superfície terrestre. As precipitações ciclônicas são de longa duração e apresentam intensidades baixas a moderadas, abrangendo grandes áreas. As ciclônicas podem ser frontais ou não frontais (VILLELA e MATOS, 1975).

- *Frontal*: Resulta da ascensão de ar quente sobre o ar frio na zona de contato entre duas massas de ar de características diferentes.

- *Não Frontal*: Pode ser produzida por baixas barométricas, com a elevação do ar devido à convergência horizontal em áreas de baixa pressão.

b. Precipitações Orográficas: Resultam da ascensão mecânica de correntes de ar úmido horizontal sobre barreiras naturais (VILLELA e MATOS, 1975).

c. Precipitações Convectivas: São típicas das regiões tropicais. O aparecimento de camadas de ar com densidades diferentes, provocados pelo aquecimento desigual da superfície terrestre, gera uma estratificação térmica da atmosfera em equilíbrio instável. Quando este equilíbrio é quebrado por algum fator, com o vento ou superaquecimento, ele provoca uma ascensão brusca e violenta do ar menos denso, capaz de atingir grandes altitudes. Suas características são a grande intensidade e a curta duração, concentradas em pequenas áreas (VILLELA e MATOS, 1975).

3.2 – DESAGREGAÇÃO ESPACIAL

Os processos meteorológicos e hidrológicos são normalmente descritos em escalas espaciais diferentes. Os modelos de mesoescala de previsão meteorológica da chuva operam com tamanhos de malhas que variam de 11x11 km² a 50x50 km², enquanto que os modelos hidrológicos distribuídos trabalham em unidades da reposta da bacia hidrográfica. A diferença entre as escalas desses modelos requer a proposição de métodos de desagregação dos dados de precipitação meteorológicos. Consideráveis esforços têm sido feitos para refinar a variabilidade espacial da chuva nos modelos de Circulação Geral da Atmosfera – GCM.

Existem dois tipos de desagregação espacial, uma é a desagregação dinâmica (*downscaling* dinâmico), que simula os processos físicos dentro dos modelos atmosféricos de previsão de chuva em escalas menores, exigindo assim uma alta demanda computacional dificultando o seu uso, e a outra é a desagregação estatística, que trabalha com as previsões dos modelos atmosféricos, refinando a escala, tendo como base a relação entre o clima e as resoluções espaciais do modelo atmosférico, ou seja, a resolução horizontal e vertical (MAURER e HIDALGO, 2008). Para este estudo foi utilizado um método de desagregação espacial estatístico.

Uma comparação entre seis modelos estatísticos e dois modelos dinâmicos de desagregação foi realizada por HAYLOCK *et al.* (2006). Entre os modelos estatísticos, quatro empregaram redes neurais artificiais e os outros dois utilizaram análise de correlação canônica. Nos modelos dinâmicos, foram utilizados modelos de previsão atmosférica com grades menores de resolução. Os modelos de redes neurais resultaram melhores quando se trata de variabilidade interanual, porém tendem a subestimar eventos extremos. Todos os oito modelos apresentaram coerência nos resultados de desagregação quando existiu uma correlação elevada entre as chuvas observadas nas estações e a quantidade de chuva prevista pelo modelo atmosférico. Outra conclusão deste estudo é que, a variação entre as saídas de um mesmo modelo de desagregação é similar a variação entre saídas de outros modelos.

Uma grande aplicação da desagregação espacial está na previsão de vazões afluentes a reservatórios de usinas hidrelétricas para a operação hidráulica em tempo real. HAAS *et al.* (2003) utilizaram um método bastante simplificado de desagregação da chuva fornecida pelo modelo MBAR (escala 25 x 25 km²) do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, para uma bacia hidrográfica de 6000 km², localizada na bacia do rio Iguaçu, para a previsão de afluências ao reservatório de Foz do Areia. Os autores obtiveram resultados melhores do que aqueles em que não consideraram uma previsão de chuvas para ampliar o alcance das previsões de curto prazo para fins operacionais.

GAO & SOROOSHIAN (1994) investigaram um método simples para introduzir a variabilidade espacial por sub-malhas de precipitação. O método é baseado em duas hipóteses: i) estacionariedade espacial, o que implica em supor que os processos de precipitação são homogêneos na malha do modelo GCM; ii) a intensidade de precipitação dentro da área de chuva pode ser representada por uma distribuição exponencial.

Dois métodos de desagregação estatística foram utilizados por MAURER e HIDALGO (2008), um método trabalha com uma combinação linear da série histórica na área a ser desagregada e o outro traça gráficos de quantis das funções densidades de probabilidade dos eventos observados para utilizar nas previsões futuras. O estudo foi realizado com dados de chuva e temperatura, diárias e mensais, e observou-se que, ambos os métodos resultaram próximos, para dados mensais, obteve-se um bom desempenho, sendo que no caso de temperatura os métodos conseguiram um resultado melhor do que para precipitações. Já para as séries diárias, o desempenho foi baixo, conseguindo reproduzir algumas áreas secas e com chuva, no caso de precipitação.

Previsões realizadas por diferentes modelos climáticos dinâmicos foram utilizadas no estudo de COELHO *et al.* (2005), onde as precipitações estavam em uma escala regional e as vazões em uma escala local. O método de assimilação Bayesiana (COELHO, 2005 e STEPHENSON *et al.*, 2005) foi aplicado para duas regiões uma ao norte e outra ao sul do Brasil, englobando alguns países vizinhos. As previsões obtidas

foram melhores sucedidas para o sul do Brasil. Este método melhorou tanto as médias das previsões como as estimativas de incertezas.

BECKER e BRAUN (1999) dividiram a bacia do rio Stör em polígonos com características iguais de tipo e uso do solo, topografia e vegetação através de um sistema de informação geográfica (GIS), porém cada área deve ser modelada em separado. Eles também utilizaram o método dos fractais, considerando a existência de similaridades estruturais em sistemas naturais, ou seja, a existência de uma relação entre o comprimento do rio e a área de drenagem correspondente, e aplicaram uma função distribuição de probabilidade para obtenção de hidrogramas unitários sintéticos.

Com o objetivo de transferir previsões de precipitação sazonal produzidas por um modelo de circulação global, GALVÃO e TRIGO (1999) utilizaram uma regressão linear baseados nos fatos de que o padrão de distribuição espacial para a média de precipitações sazonais durante o período de registro segue, aproximadamente, a topografia da bacia e a alta correlação entre os registros observados na célula e na bacia.

A regressão linear também foi utilizada por UVO *et al.* (2001). O estudo foi baseado na decomposição singular de valores para a bacia do rio Chikugo, com dados de precipitação acumuladas em 12 horas. Os autores analisaram cada estação do ano separadamente, a fim de verificar para qual delas o modelo obteve os melhores resultados, que foram obtidos para o outono e o inverno, porém para a primavera e o verão os resultados também foram satisfatórios. Como conclusão, observaram a praticidade de estabelecer uma relação estatística significativa entre o estado atmosférico e as chuvas com escalas de tempo menores que um dia.

O modelo de desagregação usado por CHEN *et al.* (2006) também teve como base a regressão, porém neste caso as previsões eram mensais. Foram utilizadas as previsões de dezessete modelos de GCM para a desagregação. Os autores concluíram que a diferença entre os resultados de desagregação é devido às diferentes considerações que cada modelo atmosférico utiliza.

Resultados promissores com relação a propriedades estatísticas e morfológicas do campo desagregado foram obtidos por SKAUGEN (2002). O autor propõe um método mais elaborado, combinando interpolação e simulação. O autor utiliza pontos do modelo atmosférico para estimar parâmetros de uma distribuição exponencial para simular precipitações e um procedimento simples de interpolação espacial para determinar a posição da precipitação. Segundo SKAUGEN (2002) a distribuição estatística espacial do campo de precipitação desagregado pode ser modelada como uma mistura de distribuições exponenciais, enquanto as dependências espaciais (correlações) são mantidas pelo procedimento de interpolação. Esta abordagem é considerada nesta dissertação para desagregação dos campos de precipitação previstos pelo modelo WRF.

3.2 – MODELO ATMOSFÉRICO WRF

O modelo a ser utilizado no estudo é o WRF – *Weather Research and Forecasting* – desenvolvido nos Estados Unidos pela união de esforços entre o Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas (NCAR), Divisão de Meteorologia de Meso e Microescala (MMM), a Administração Nacional de Oceanos e Atmosfera (NOAA), o Centro Nacional de Previsão do Meio Ambiente (NCEP), o Laboratório de Pesquisa Naval (NRL), o Centro de Análise e Previsão de Tempestades (CAPS) da Universidade de Oklahoma, e a Administração Federal de Aviação (FAA), juntamente com a participação de outros cientistas (SKAMAROCK *et al.*, 2005).

O WRF fornece uma previsão meteorológica de mesoescala. Ele é um modelo flexível, com códigos fontes simples, o que facilita o seu entendimento e aplicação. Possui um sistema operacional de assimilação de dados com captação em três dimensões. Além disso, pode ser usado em escala de metros até milhares de quilômetros.

A estrutura do software do WRF, chamado de WSF, é composta por um sistema que compreende quatro programas para alcançar o resultado final, entre eles estão o ARW (Pesquisa Avançada do WRF) e o NMM (Modelo de Mesoescala Não Hidrostático), que atualmente operam separadamente, porém, eles possuem os mesmos componentes básicos que executam as mesmas funções dentro da estrutura do *software*.

O ARW utiliza as equações não hidrostáticas de Euler para caracterizar as propriedades conservativas do fluido. As equações são formuladas, usando as coordenadas verticais de pressão hidrostática (LAPRISE, 1992) e as equações de fluxo no espaço cartesiano, para incluir o efeito da umidade na atmosfera.

Equações da conservação da quantidade de movimento:

$$\partial_t U + (\nabla \cdot \mathbf{u}) - \partial_x(p\phi_\eta) + \partial_x(p\phi_x) = F_U \quad (1)$$

$$\partial_t V + (\nabla \cdot \mathbf{v}) - \partial_y(p\phi_\eta) + \partial_y(p\phi_y) = F_V \quad (2)$$

$$\partial_t W + (\nabla \cdot \mathbf{w}) - g(\partial_\eta p - \mu) = F_W \quad (3)$$

Equação da conservação de energia termodinâmica:

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot \boldsymbol{\theta}) = F_\Theta \quad (4)$$

Equação de conservação da massa:

$$\partial_t \mu + (\nabla \cdot \boldsymbol{\mu}) = 0 \quad (5)$$

Equação geopotencial:

$$\partial_t \phi + \mu^{-1} [(\mathbf{V} \cdot \nabla \phi) - gW] = 0 \quad (6)$$

$$\partial_\eta \phi = -\alpha \mu \quad (7)$$

Equação do estado termodinâmico:

$$p = p_0 (R_d \theta / p_0 \alpha)^\gamma \quad (8)$$

onde $\mathbf{v} = (u, v, w)$, θ é a temperatura potencial, $\phi = gz$ é o geopotencial, p é a pressão, α é o inverso da densidade, $\gamma = c_p/c_v = 1,4$, R_d é a constante do gás para o ar seco, p_0 é a pressão de referência a nível do mar, $\mathbf{V} = \mu \mathbf{v} = (U, V, W)$ e $\Theta = \mu \theta$. F_U , F_V , F_W e F_Θ representam os termos forçantes devido a física do modelo, mistura turbulenta, projeções esféricas e a rotação da Terra.

As equações representadas (1) a (5), são equações de balanço para o fluxo atmosférico e estão na sua forma teórica. Na prática o WRF leva em conta o efeito da força de Coriolis, umidade do ar e a projeção cartográfica da área onde será feita a previsão.

Para a discretização temporal, o modelo utiliza o método de Runge-Kutta de 3ª ordem para resolver modos de baixa frequência, que são meteorologicamente significantes, e o método de integração em escalas pequenas de tempo para modos acústicos de alta frequência. As variáveis são definidas como $\Phi = (U, V, W, \Theta, \phi', \mu', Q_m)$ e as equações do modelo, $\Phi_t = R(\Phi)$. São necessários três passos para avançar a solução de $\Phi(t)$ a $\Phi(t + \Delta t)$:

$$\Phi^* = \Phi^t + \frac{\Delta t}{3} R(\Phi^t) \quad (9)$$

$$\Phi^{**} = \Phi^t + \frac{\Delta t}{2} R(\Phi^*) \quad (10)$$

$$\Phi^{t+\Delta t} = \Phi^t + \Delta t R(\Phi^{**}) \quad (11)$$

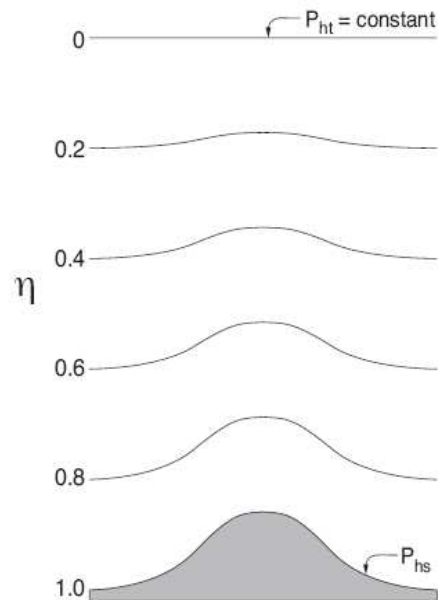
onde Δt é o passo de tempo utilizado para ondas lentas. Apesar de ser denominado Runge-Kutta de 3ª ordem, ele tem precisão de 3ª ordem apenas para as equações lineares, para as equações não lineares é de 2ª ordem.

Na discretização espacial, para estimar os momentos de 2ª até 6ª ordem de advecção também é utilizado o método de Runge-Kutta de 3ª ordem.

A difusão é analisada de duas maneiras diferentes, uma ao longo da superfície e a outra no espaço físico (x,y,z).

Para a aplicação do modelo é necessário definir e localizar uma malha tridimensional, especificando as características da superfície, como vegetação, rios e tipos de solo. Além disso, é necessário definir as condições iniciais e de contorno, utilizando para tal, um modelo meteorológico de escala global, sendo utilizado o Sistema Global de Previsão (GFS).

O sistema de coordenadas verticais do WRF é denominado η , representado na figura 1, porém ele não utiliza como base o nível médio do mar. As variáveis calculadas representam uma média para a parcela entre as duas superfícies e não um valor sobre a superfície.



FONTE: SKAMAROCK et al. (2005)

FIGURA 1 – SISTEMA η DE COORDENADAS VERTICAIS

Este modelo está sendo testado pelo Instituto Tecnológico Simepar e tem sido utilizado como um dos modelos na análise de previsão de chuvas no estado do Paraná. Além deste, o SIMEPAR também utiliza outros modelos de mesoescala para o estudo da bacia, como o MBAR e o ETA.

4 – MÉTODO DE SKAUGEN

4.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

O método de desagregação espacial de chuva de SKAUGEN (2002) é uma combinação de interpolação e simulação.

Os quatro pontos nodais da célula do modelo atmosférico são usados para determinar os parâmetros da distribuição exponencial para valores simulados de precipitação, e num procedimento simples de interpolação, para determinar a localização espacial dos valores de precipitação. Uma distribuição truncada com dois parâmetros é usada no caso de cobertura completa da célula e uma distribuição com um parâmetro é usada quando há intermitência.

O objetivo deste capítulo é mostrar que a distribuição espacial da precipitação numa célula da malha de um modelo atmosférico global é exponencial. Esta distribuição é, também, escolhida para descrever a distribuição espacial da precipitação para propósitos de desagregação, porque, em parte, requer apenas um parâmetro e porque fornece uma desejável representação da chuva para propósitos de desagregação espacial (ONOF *et al.*, 1998).

O método de Skaugen é usado para desagregação de chuvas diárias assumindo que a distribuição estatística espacial é exponencial para cada célula da malha e não necessariamente para o campo de precipitação inteiro. A precipitação na célula A da malha pode ser formulada como:

$$E(z)_A = \frac{1}{A} \int_A z(x) dx \quad (12)$$

onde $z(x)$ é a precipitação acumulada no ponto x e $E(z)_A$ é o valor esperado da precipitação na célula A, ou seja, o seu valor médio.

A área fracional, a_τ , da cobertura espacial, é calculada para intensidades discretas τ (mm), $\tau=0,1,2\dots T$, onde T corresponde à chuva de maior intensidade. Chamando $\Delta\tau$ o intervalo separando dois passos discretos de intensidade τ (mm), no

caso, $\Delta\tau = 1$ (mm) uma vez que $\tau=0,1,2\dots T$, a precipitação média na célula A da malha pode ser aproximada pela equação (13):

$$m(z)_A \approx \Delta\tau \sum_{\tau=a}^T a_\tau \quad (13)$$

onde a_τ é a área com altura de precipitação correspondente a τ mm. Note-se que $m(z)_A$ tem uma dimensão de volume.

A área a_τ , com precipitação maior que τ mm é:

$$a_\tau = \frac{1}{A} \int_A I_\tau(x) dx \quad \text{com} \quad 0 \leq a_\tau \leq 1 \quad (14)$$

onde I_τ é uma função “indicador”, tal que $I_\tau(x) = \begin{cases} 1 \rightarrow z(x) \geq \tau \\ 0 \rightarrow z(x) < \tau \end{cases}$

Note-se que a equação (14) fornece a área da célula coberta por chuva de intensidade igual ou superior à precipitação acumulada no ponto x . Se $z(x) = 0$ tem-se $a_\tau = a_0 = 0$.

As áreas fracionais respeitam a propriedade dada pela equação (15), isto é, áreas com chuvas mais intensas são menores.

$$a_\tau > a_{\tau+1} > a_{\tau+2} \dots > a_T \quad (15)$$

onde T é a máxima intensidade quando a_T aproxima-se de zero.

A redução das áreas fracionais quando a intensidade da precipitação aumenta é:

$$h_\tau = a_{\tau+1}/a_\tau \quad 0 < h_\tau < 1 \quad \tau = 1,2,\dots,T \quad (16)$$

Em princípio, todas as áreas fracionais podem ser expressas em termos de h . A área fracional para $\tau+1$ é $a_\tau h_{\tau+1}$, a consecutiva, $a_{\tau+2}$ é $a_\tau h_{\tau+1} h_{\tau+2}$, etc. Combinando as equações (15) e (16), a expressão para a precipitação média na área pode ser escrita como:

$$m(z)_A \approx a_o \Delta\tau \left(\sum_{\tau=1}^T \prod_{j=1}^{\tau} h_j \right) \quad (17)$$

SKAUGEN *et al.* (1996) estudaram as áreas fracionais a_τ e sua relação h para diversos eventos de chuvas extremas em bacias hidrográficas de diferentes tamanhos ao Sul da Noruega. Observaram que o valor médio e o desvio padrão de h independem das intensidades τ de chuva e do tamanho da bacia hidrográfica e notaram, também, uma fraca correlação serial dos valores de h .

Com base nas observações acima, aceita-se a hipótese que h é uma variável estocástica, independente e identicamente distribuída com média \bar{h} . Se, conseqüentemente, a_o é igual a 1, isto é, chove na célula inteira, a equação (17) pode ser escrita como:

$$m(z)_A \approx \Delta\tau \left(\sum_{\tau=1}^T \bar{h}^\tau \right) \quad (18)$$

Considera-se uma divisão regular de $(0, T)$ tal que $(T-0)/n = \Delta\tau$, então a equação (18) é equivalente a uma soma de Rieman e a integral de uma função continua é definida por:

$$m(z)_A \approx \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \left[\Delta\tau \left(\sum_{i=1}^n \bar{h}^{\tau_i^*} \right) \right] = \int_0^T \bar{h}^z dz \quad (19)$$

onde τ_i^* está compreendido no intervalo $[\tau-1, \tau]$. Se T na equação (19) tende a infinito, o integrando pode ser visto como uma função de distribuição acumulada de z :

$$F(z) = 1 - \bar{h}^z \quad 0 < z < \infty \quad (20)$$

A função densidade de probabilidade é então:

$$f(z) = -\log(\bar{h}) \bar{h}^z \quad (21)$$

Escrevendo $-\log(\bar{h}) = \lambda$, logo $\bar{h} = e^{-\lambda}$ e substituindo estas expressões na equação (10), obtém-se a distribuição exponencial $f(z) = \lambda e^{-\lambda z}$, com momentos $E(z) = 1/\lambda$ e $\text{var}(z) = 1/\lambda^2$. Quando a descrição das áreas fracionais com relação constante \bar{h} é apropriada, então a distribuição espacial estatística da precipitação é uma distribuição exponencial com parâmetro $\lambda = -\log(\bar{h})$.

Há duas possibilidades de ocorrências de precipitação sobre uma célula da malha do modelo de previsão atmosférica. A célula pode estar *plenamente coberta* por precipitação, para a qual existe uma intensidade mínima positiva e as áreas fracionais para esta intensidade mínima e menor que ela são iguais à unidade. Denotando a intensidade mínima por b , isto é, $a_k = 1$ para todo $k\Delta\tau \leq b$. A segunda ocorrência considera um campo intermitente de chuva, onde somente uma fração da célula da malha é coberta por precipitação. A distribuição espacial da precipitação pode, para ambos os casos, ser descrita por uma distribuição exponencial com a introdução de um parâmetro adicional para cada caso.

4.2 – COBERTURA COMPLETA

A intensidade mínima positiva b atua como um parâmetro de locação da distribuição exponencial:

$$f(z) = \lambda e^{-\lambda(z-b)} \quad b < z < \infty \quad (22)$$

com momentos:

$$E(z) = b + \frac{1}{\lambda} = b + \frac{-1}{\log(\bar{h})} \quad (23)$$

$$\text{var}(z) = \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\log^2(\bar{h})} \quad (24)$$

4.3 - COBERTURA PARCIAL

O ponto de partida para este caso é o conhecimento *a priori* da média e variância incondicional (momentos incluindo zeros), os quais são derivados de pontos nodais da célula da malha. Assim, pode-se estimar a média condicional, a variância (para valores positivos de precipitação) e a fração seca da célula.

Denotando por z e z' séries de precipitação incluindo e não incluindo zeros respectivamente, obtém-se os momentos:

$$E(z) = \frac{n-m}{n}0 + \frac{m}{n}E(z') = pE(z') \quad (25)$$

onde $p = m/n$ é a fração da célula com precipitação e similarmente:

$$E(z^2) = \frac{n-m}{n}0 + \frac{m}{n}E(z'^2) = pE(z'^2) \quad (26)$$

e a variância:

$$\text{var}(z) = E(z^2) - E(z)^2 \quad (27)$$

Substituindo a equação (26) na equação (27):

$$\text{var}(z) = pE(z'^2) - E(z)^2 \quad (28)$$

e assumindo que a distribuição de z' é exponencial com parâmetro λ , $E(z'^2)$ pode ser expresso em termos de $E(z')$ usando o fato que para distribuição exponencial, $E(z'^2) = 2E(z')^2$, e por meio das equações (25) e (28), obtém-se:

$$\text{var}(z) = \frac{2}{p}E(z)^2 - E(z)^2 \quad (29)$$

a qual fornece a fração p da precipitação positiva dentro da célula como:

$$p = \frac{2}{\frac{\text{var}(z)}{E(z)^2} + 1} \quad (30)$$

É apropriado discutir aqui a relação entre a variância incondicional e o quadrado da média incondicional na equação (30) e relacionar esta relação à estrutura espacial da chuva. Para uma distribuição exponencial não-truncada, o desvio padrão espacial é igual à média espacial e conseqüentemente a relação é igual à unidade. Da equação (30) isto corresponde a $p=1$, isto é, cobertura completa. Quando esta relação é maior que um, observa-se novamente da equação (30) que os valores de p estão no intervalo $[0,1]$, isto é, o campo é intermitente. Quando a relação é menor que um, a precipitação não pode ser exponencialmente distribuída a menos que haja uma intensidade mínima b , implicando em um truncamento da distribuição exponencial com momentos dados pelas equações (23) e (24).

5 – ESTUDO DE CASO

5.1 – ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Iguaçu vem sendo amplamente estudada ao longo dos anos devido a sua importância no setor elétrico brasileiro, sua nascente está localizada na Serra do Mar e seu sentido é leste-oeste, tendo sua foz localizada na cidade de Foz do Iguaçu – PR. Esta bacia foi escolhida para este estudo pelo interesse de recursos hídricos no gerenciamento de reservatórios e controle de cheias.

A área estudada, para fins de comparação entre as previsões com as chuvas observadas nas estações telemétricas (seção 5.2) está localizada dentro da sub-bacia 65, englobando desde a nascente do rio Iguaçu até o município de União da Vitória (Figura 2) totalizando uma área de drenagem de 24.000 km², sendo que os principais afluentes do rio Iguaçu, neste trecho, são os rios da Várzea, Negro e Canoinhas.



FONTE: ARAUJO (2006)

FIGURA 2 – BACIA DO RIO IGUAÇU EM UNIÃO DA VITÓRIA

Nesta região o rio Iguaçu atravessa amplos vale com baixa declividade, apenas na sub-bacia de rio Timbó que se observa um terreno acidentado, alcançando, aproximadamente a altitude de 1300 m (Figura 3).

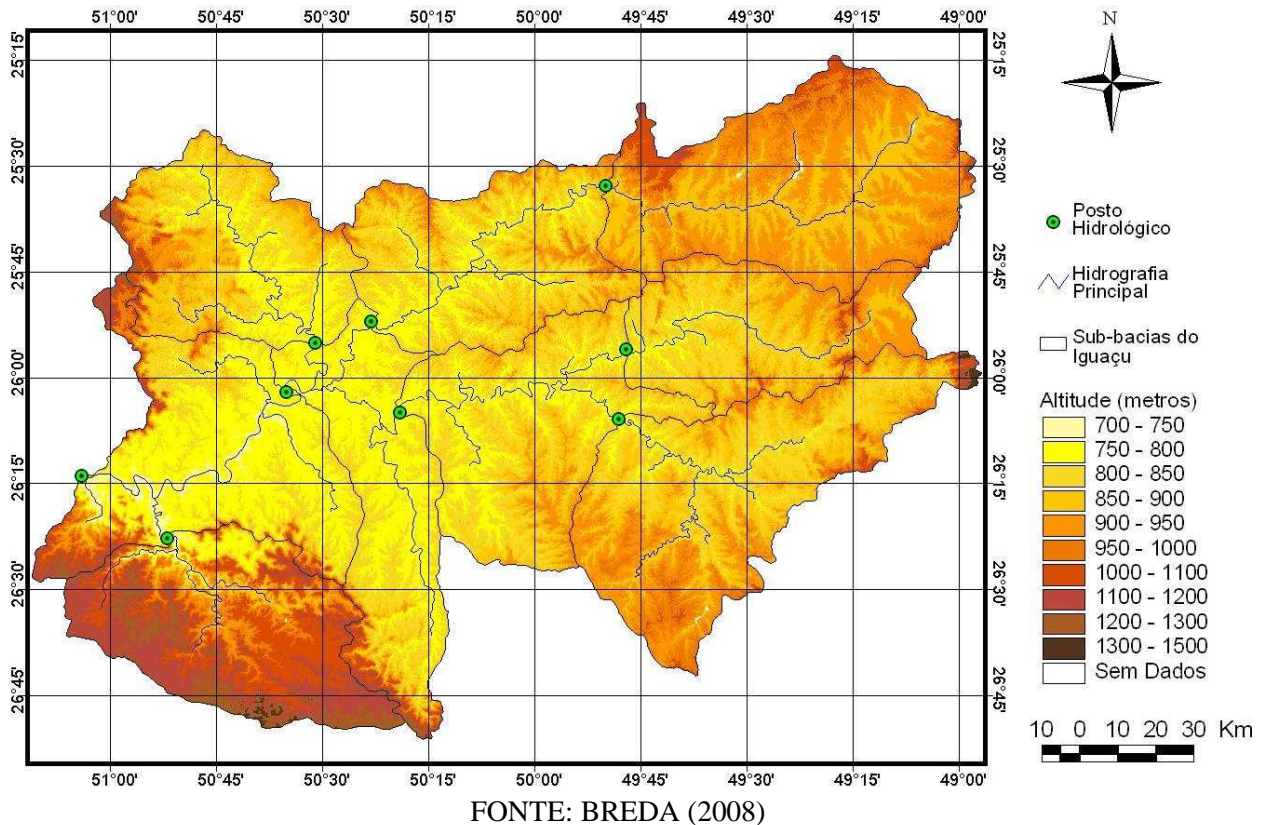


FIGURA 3 – RELEVO DA BACIA DO RIO IGUAÇU EM UNIÃO DA VITÓRIA

Para a desagregação de chuvas previstas pelo modelo WRF (seção 5.3 e 5.4), foi selecionada uma área a montante de União da Vitória. A área escolhida tem importância devido a sua localização a montante do reservatório de Foz do Areia. As características observadas para a escolha da área foram a declividade do terreno na região do rio Timbó e a quantidade de eventos de chuva coincidentes com as previsões nesta região.

5.2 – COMPARAÇÃO DAS PREVISÕES COM CHUVAS OBSERVADAS

As previsões de chuva foram avaliadas para obter sensibilidade quanto à porcentagem de acerto e erro com as chuvas observadas pela rede telemétrica.

A comparação das previsões de chuva foi realizada do ponto de vista qualitativo tanto no que diz respeito à porcentagem de acertos de dias secos e chuvosos e quanto às

porcentagens de superestimativas e subestimativas com relação às precipitações observadas na rede telemétrica de superfície.

5.2.1– Previsão de Precipitação

As previsões de chuva através do modelo WRF, geradas diariamente pelo SIMEPAR, têm como etapas: i) obtenção de dados do modelo global GFS, ii) interpolação dos dados para a grade do WRF, iii) simulação e pós-processamento dos dados (OLIVEIRA, 2006).

O modelo atmosférico global GFS – *Global Forecast System* – tem seus dados disponíveis na *internet* pelo NCEP - *National Centers for Environmental Prediction* – em quatro simulações diárias (0h, 6h, 12h, 18h UTC), com resoluções espaciais de 0,5; 1; 2,5 graus de latitude e longitude e resolução temporal de 3 horas, com horizonte de até 384 horas. Para a realização das simulações com o modelo WRF foram utilizados os dados de 00h UTC, com resolução espacial de 1 grau.

Para a interpolação é utilizado o pacote WRFSI – *WRF Standart Inicialization* – que transforma dados de topografia, uso do solo, cobertura vegetal, etc., e dados obtidos do modelo atmosférico global em arquivos de condições de contorno e condições iniciais.

É definida uma grade para interpolar os campos estáticos e em seguida os dados do modelo atmosférico global são interpolados horizontalmente, no sistema de coordenadas da grade, e verticalmente no sistema de coordenadas η .

A grade do modelo WRF abrange, além do estado do Paraná, grande parte do Paraguai e dos estados de Santa Catarina e São Paulo. Esta região foi definida de modo a evitar problemas relacionados aos “efeitos de borda”, que estão relacionados a eventos de grande escala (OLIVEIRA, 2006).

As previsões quantitativas de precipitação têm como resolução espacial 15 km x 15 km e o horizonte de previsão é de 48 horas com resolução temporal de 1 hora, sendo realizadas simulações diárias a partir das 00h UTC.

As previsões obtidas do modelo WRF foram interpoladas por OLIVEIRA (2006) pelo GrADs – *Grid Analysis and Display System* – para uma resolução espacial de 7,5 km x 7,5 km (Figura 4). Esta interpolação parte de uma combinação linear em função dos valores observados:

$$h^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(x)h(x_i) \quad (31)$$

onde $\lambda_i(x)$ são pesos que dependem diretamente da distância entre o pontos de grade x e os pontos de grades locais com dados (x_1, \dots, x_n). Este método é conhecido como interpolação ponderada (KAVISKI, 1992).

Foram utilizadas as previsões do período de 24 de setembro de 2005 até 11 de outubro de 2006 totalizando assim 382 dias.

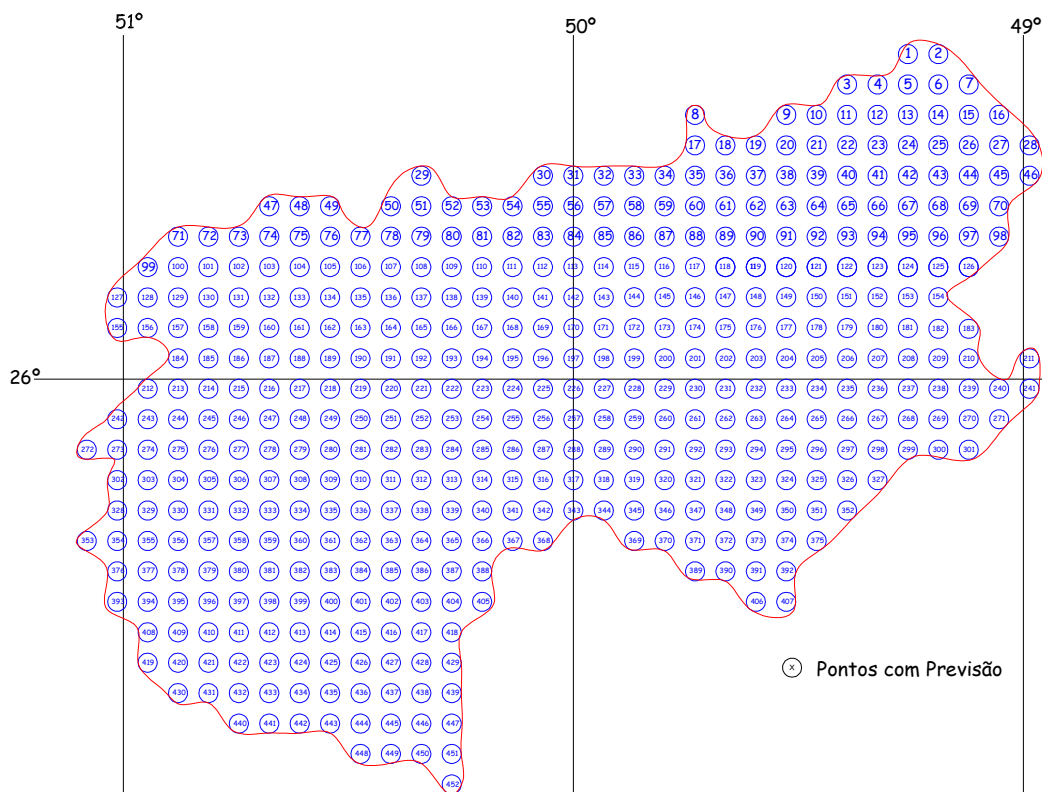


FIGURA 4 – BACIA DO RIO IGUAÇU COM PONTOS DE PREVISÃO INTERPOLADOS PELO GrADs

5.2.2 – Estações Telemétricas

As estações telemétricas utilizadas são da rede do SIMEPAR e estão divididas em estações hidrológicas e meteorológicas. Na figura 5 estão localizadas as estações dentro da bacia do Rio Iguaçu até a seção no rio Iguaçu em União da Vitória.

As informações de chuvas foram obtidas do banco de dados do SIMEPAR com uma resolução temporal horária. Foram utilizados apenas os dados do mesmo período das previsões, ou seja, de setembro de 2005 a outubro de 2006.

No período dos dados estudados, o comportamento de precipitações foi atípico do ponto de vista meteorológico, pois na primavera de 2005, em quase todas as estações, o registro de precipitações esteve acima do dobro da média mensal (OLIVEIRA, 2006) e no outono houve baixa ocorrência de eventos pluviais.

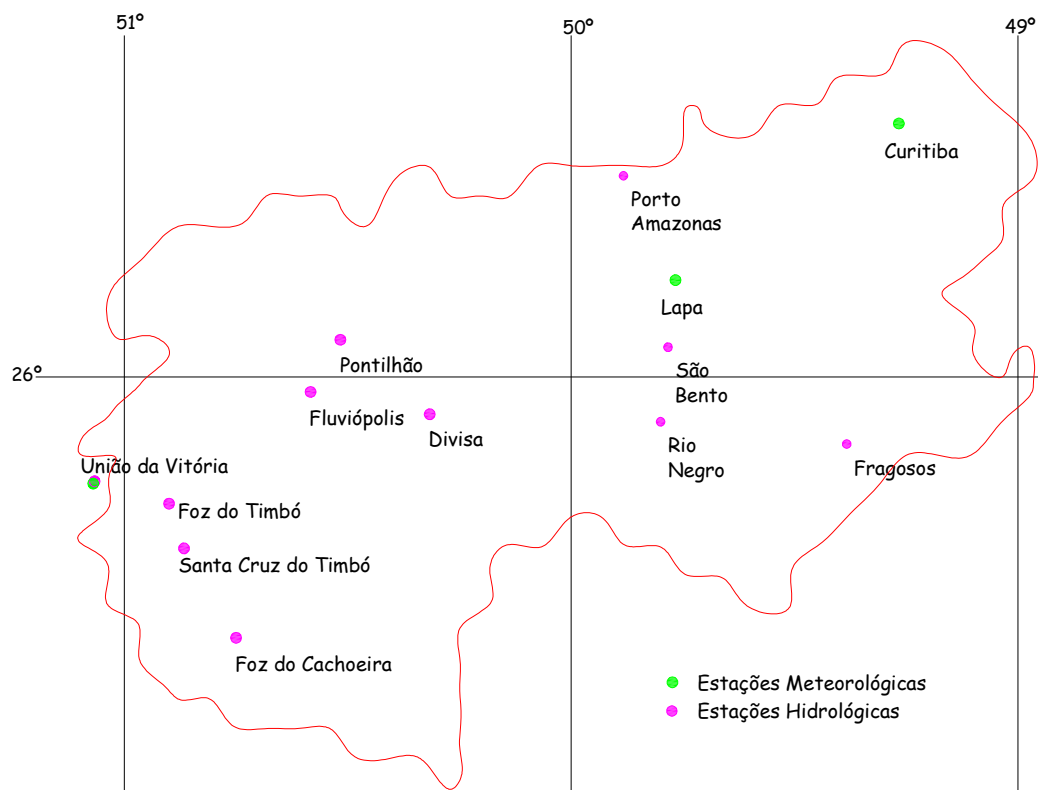


FIGURA 5 – ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS NA BACIA DO RIO IGUAÇU

5.2.3 – Análise dos Dados

As previsões de chuva, espaçadas de 7,5 km, foram numeradas de 1 a 452 (Figura 3), para facilitar a identificação junto às estações telemétricas utilizadas.

Para avaliação das previsões foram utilizados os pontos que mais se aproximam de cada uma das estações, como mostra a Tabela 1.

TABELA 1 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS E DOS PONTOS DE PREVISÃO

Estação	Latitude	Longitude	Ponto de Previsão	Latitude	Longitude
Curitiba	-25,4333	-49,2666	13	-25,4135	-49,2568
Divisa	-26,0833	-50,3166	252	-26,0892	-50,3378
Fluviópolis	-26,0333	-50,5833	217	-26,0216	-50,6081
Foz do Cachoeira	-26,5833	-50,7500	411	-26,5622	-50,7432
Foz do Timbó	-26,2833	-50,9000	330	-26,2919	-50,8784
Fragosos	-26,1500	-49,3833	297	-26,1568	-49,3919
Lapa	-25,7833	-49,7666	116	-25,7514	-49,7973
Pontilhão	-25,9166	-50,5166	162	-25,8865	-50,5405
Porto Amazonas	-25,5500	-49,8830	33	-25,5486	-49,8649
Rio Negro	-26,1000	-49,8000	260	-26,0892	-49,7973
São Bento	-25,9333	-49,7833	200	-25,9541	-49,7973
Santa Cruz do Timbó	-26,3833	-50,8666	356	-26,3595	-50,8784
União da Vitória	-26,2333	-51,0666	302	-26,2243	-51,0135

Foram calculadas estatísticas de chuva média, chuva máxima e desvio padrão para analisar as diferenças básicas entre as chuvas observadas pelas estações telemétricas e a chuva prevista pelo modelo atmosférico WRF. A tabela 2 apresenta estes valores, onde se pode observar sempre, que os valores obtidos do modelo WRF são superiores ao da chuva observada na estação. Em média, apresentam-se diferenças de 2,4mm/dia tanto para previsão de 24 horas como para a de 48 horas para as médias diárias, de 38,6 mm/dia e 43,6 mm/dia para as máximas de previsão de 24 horas e 48 horas, respectivamente, e 4,1 mm/dia e 5,1 mm/dia no caso do desvio padrão, também para a previsão de 24 horas e 48 horas.

TABELA 2 – ESTATÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E DO MODELO WRF (Set/2005 a Out/2006)

Local	Média (mm/dia)			Máximo (mm/dia)			Desvio Padrão (mm/dia)		
	Estação	WRF-HP=24h	WRF-HP=48h	Estação	WRF-HP=24h	WRF-HP=48h	Estação	WRF-HP=24h	WRF-HP=48h
Curitiba	2,7	4,6	4,5	51,4	101,1	58,1	7,2	10,2	10,1
Divisa	2,9	5,6	5,8	53,2	103,9	135,3	7,5	12,8	14,4
Fluviópolis	3,0	5,2	5,5	55,2	85,0	142,2	7,6	11,7	14,7
Foz do Cachoeira	3,8	5,5	5,1	67,4	90,9	86,5	9,6	12,6	11,8
Foz do Timbó	3,0	5,4	4,9	77,2	95,4	117,1	8,1	12,4	12,1
Fragosos	2,8	6,7	6,7	39,4	75,6	86,6	6,7	12,0	12,8
Lapa	3,2	5,1	5,4	67,4	86,3	97,4	8,4	10,8	12,6
Pontilhão	3,1	5,5	6,0	47,2	121,6	151,5	7,6	12,2	15,7
Porto Amazonas	2,7	5,1	5,0	50,6	161,7	84,2	7,0	12,3	11,1
Rio Negro	1,8	4,9	5,6	37,2	115,4	113,2	5,0	11,7	14,4
São Bento	2,8	5,1	5,5	102,2	104,1	113,7	8,3	11,8	13,9
Santa Cruz do Timbó	3,3	5,3	4,9	81,4	83,8	99,6	8,5	11,6	11,6
União da Vitória	3,3	5,4	4,9	99,4	105,9	110,0	9,6	12,5	11,9

NOTA: (1) HP = Horizonte de Previsão

Foram acumuladas, tanto as previsões como as observações de chuva em 12 e 24 horas. As previsões de 0 a 23 horas (horizonte de previsão de 24 horas) e de 24 a 48 horas (horizonte de previsão de 48 horas) foram separadas e avaliadas como sendo de dois dias independentes; as previsões de 24 a 48 horas foram analisadas de maneira que correspondessem com a data correta de ocorrência. Assim, para cada dia tem-se um par de previsões, com a exceção do primeiro dia de observação (Figura 6).

Para a análise, foram avaliados os acertos, ou seja, quando o modelo de previsão e a estação telemétrica estão de acordo se ocorreu ou não chuva e as falhas, quando, por exemplo, houve chuva prevista pelo modelo, porém não há registro de chuva na estação ou vice e versa, sendo que não foi avaliada a quantidade de chuva em nenhum dos casos. Também foram avaliados quando o modelo de previsão superestimou e subestimou a chuva observada na estação, e quando ambos estiveram de acordo.

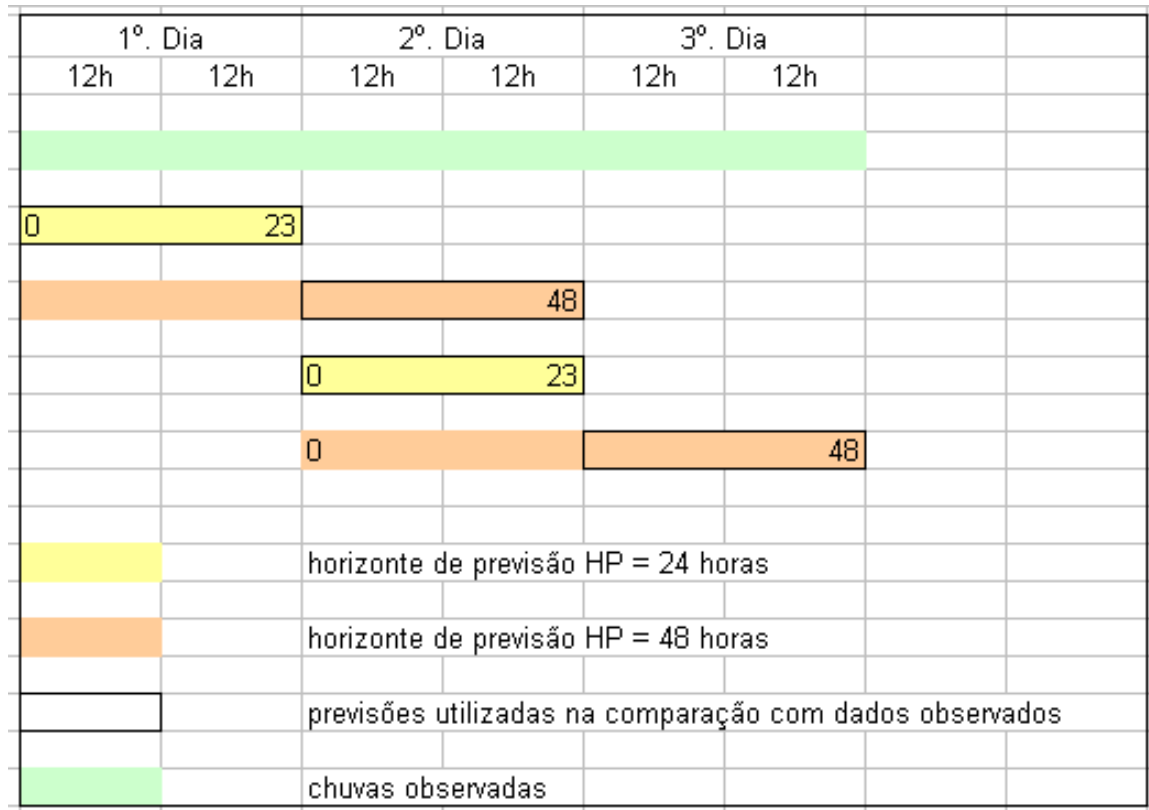


FIGURA 6 – CHUVA OBSERVADA E PREVISÕES

Na Figura 7 estão representadas as precipitações observadas pela rede do SIMEPAR com as previsões de chuva feitas pelo modelo WFR para a estação Curitiba. Na maioria das estações, conforme Apêndice A pode-se observar que a previsão de 24 a 48 horas apresenta uma dispersão maior do que a feita para as primeiras 24 horas. Além disso, as previsões superestimam as observações da rede para os dois intervalos de previsão. Esta superestimativa é confirmada pela análise qualitativa do modelo, apresentada nas Tabelas 3 e 4.

TABELA 3 – ANÁLISE QUALITATIVA – CHUVA ACUMULADA 12 HORAS

Continua

Estação	rede telemétrica	WRF – HP = 24 h		WRF – HP = 48h	
		choveu	não choveu	choveu	não choveu
CURITIBA Meteorológica	choveu	13,3%	3,4%	12,9%	4,3%
	não choveu	15,3%	68,0%	16,2%	66,6%
	superestimou		23,5%		22,5%
	subestimou		7,3%		9,3%
	acerto		69,2%		68,2%
DIVISA	choveu	14,8%	2,6%	13,6%	3,4%
	não choveu	17,4%	65,2%	16,8%	66,2%
	superestimou		25,3%		23,7%
	subestimou		8,0%		8,6%
	acerto		66,7%		67,7%
FLUVIÓPOLIS	choveu	14,6%	3,4%	13,5%	4,5%
	não choveu	16,1%	65,9%	16,4%	65,6%
	superestimou		24,3%		22,8%
	subestimou		8,2%		9,4%
	acerto		67,5%		67,8%
FOZ DO CACHOEIRA	choveu	15,3%	2,5%	13,5%	3,8%
	não choveu	14,1%	68,1%	14,7%	68,0%
	superestimou		20,6%		20,5%
	subestimou		9,5%		9,4%
	acerto		69,9%		70,1%
FOZ DO TIMBÓ	choveu	14,1%	2,1%	12,8%	3,5%
	não choveu	17,4%	66,4%	14,8%	68,9%
	superestimou		25,5%		21,3%
	subestimou		7,0%		8,1%
	acerto		67,5%		70,6%
FRAGOSOS	choveu	16,2%	1,2%	15,4%	2,0%
	não choveu	27,5%	55,1%	30,0%	52,6%
	superestimou		36,2%		38,9%
	subestimou		6,3%		7,5%
	acerto		57,5%		53,6%
LAPA Meteorológica	choveu	14,9%	2,5%	13,4%	3,9%
	não choveu	14,2%	68,4%	17,4%	65,3%
	superestimou		22,3%		23,3%
	subestimou		8,0%		9,3%
	acerto		69,7%		67,4%
PONTILHÃO	choveu	14,9%	3,3%	14,4%	4,1%
	não choveu	16,3%	65,5%	16,0%	65,5%
	superestimou		25,7%		24,3%
	subestimou		7,6%		8,6%
	acerto		66,7%		67,1%
PORTO AMAZONAS	choveu	14,0%	2,4%	12,4%	3,6%
	não choveu	14,8%	68,8%	15,5%	68,5%
	superestimou		23,4%		20,8%
	subestimou		7,0%		9,2%
	acerto		69,6%		70,0%
RIO NEGRO	choveu	12,3%	2,1%	12,2%	2,4%
	não choveu	17,4%	68,2%	17,3%	68,1%
	superestimou		24,2%		24,6%
	subestimou		5,9%		6,4%
	acerto		69,9%		69,0%

Estação	rede telemétrica	WRF – HP = 24 h		WRF – HP = 48h	
SÃO BENTO	choveu	15,3%	1,6%	13,9%	
	não choveu	13,8%	69,3%	15,5%	67,9%
	superestimou		22,8%		22,6%
	subestimou		6,9%		8,2%
	acerto		70,3%		69,2%
SANTA CRUZ DO TIMBÓ	choveu	14,5%	2,5%	12,4%	4,2%
	não choveu	15,9%	67,1%	13,7%	69,7%
	superestimou		23,1%		20,3%
	subestimou		7,8%		8,9%
	acerto		69,1%		70,8%
UNIÃO DA VITÓRIA Meteorológica	choveu	13,2%	3,0%	11,8%	4,4%
	não choveu	17,9%	65,9%	16,8%	67,0%
	superestimou		24,4%		23,2%
	subestimou		7,6%		8,2%
	acerto		68,0%		68,6%
UNIÃO DA VITÓRIA	choveu	13,8%	3,2%	11,5%	4,7%
	não choveu	17,1%	65,9%	17,0%	66,8%
	superestimou		24,5%		22,4%
	subestimou		7,8%		8,9%
	acerto		67,7%		68,7%

TABELA 4 – ANÁLISE QUALITATIVA – CHUVA ACUMULADA 24 HORAS

Continua

Estação	rede telemétrica	WRF – HP = 24 h		WRF – HP = 48h	
CURITIBA Meteorológica	choveu	choveu	não choveu	choveu	não choveu
	não choveu	24,5%	4,2%	23,3%	5,5%
	superestimou	17,0%	54,3%	19,4%	51,8%
	subestimou		33,4%		32,5%
	acertou		11,5%		14,4%
DIVISA	choveu	26,4%	3,1%	25,9%	3,9%
	não choveu	19,3%	51,2%	17,5%	52,7%
	superestimou		35,2%		32,7%
	subestimou		12,0%		12,3%
	acerto		52,8%		55,0%
FLUVIÓPOLIS	choveu	26,4%	3,7%	24,9%	5,0%
	não choveu	17,2%	52,7%	18,8%	51,3%
	superestimou		33,9%		30,9%
	subestimou		11,2%		13,9%
	acerto		54,9%		55,2%
FOZ DO CACHOEIRA	choveu	25,8%	2,9%	24,9%	3,9%
	não choveu	16,4%	54,9%	15,7%	55,5%
	superestimou		30,0%		28,5%
	subestimou		13,6%		13,9%
	acerto		56,4%		57,6%
FOZ DO TIMBÓ	choveu	25,3%	1,3%	23,0%	3,4%
	não choveu	18,8%	54,6%	17,0%	56,6%
	superestimou		33,7%		28,5%
	subestimou		10,7%		12,3%
	acerto		55,6%		59,2%
FRAGOSOS	choveu	29,5%	1,0%	28,3%	1,6%
	não choveu	29,8%	39,7%	34,3%	35,8%
	superestimou		50,4%		52,1%
	subestimou		8,4%		10,2%
	acerto		41,2%		37,7%

Estação	rede telemétrica	WRF – HP = 24 h		WRF – HP = 48h	
LAPA Meteorológica	choveu	25,3%	2,6%	24,3%	4,2%
	não choveu	15,7%	56,4%	20,9%	50,6%
	superestimou		31,3%		33,5%
	subestimou		11,2%		13,6%
	acerto		56,7%		51,1%
PONTILHÃO	choveu	25,6%	4,4%	25,4%	4,7%
	não choveu	17,5%	52,5%	18,1%	51,8%
	superestimou		34,2%		33,8%
	subestimou		12,5%		12,6%
	acerto		53,3%		53,6%
PORTO AMAZONAS	choveu	24,5%	3,2%	23,2%	5,4%
	não choveu	15,3%	57,0%	17,5%	53,9%
	superestimou		30,6%		29,1%
	subestimou		11,8%		14,3%
	acerto		57,6%		56,6%
RIO NEGRO	choveu	23,8%	2,6%	22,0%	2,6%
	não choveu	19,6%	54,0%	21,7%	53,7%
	superestimou		35,2%		35,9%
	subestimou		8,9%		8,6%
	acerto		56,2%		55,5%
SÃO BENTO	choveu	26,4%	1,6%	25,1%	2,6%
	não choveu	15,4%	56,6%	18,8%	53,5%
	superestimou		32,1%		31,9%
	subestimou		10,4%		11,5%
	acerto		57,5%		56,6%
SANTA CRUZ DO TIMBÓ	choveu	25,6%	2,6%	24,1%	3,7%
	não choveu	17,5%	54,3%	15,4%	56,8%
	superestimou		33,2%		28,0%
	subestimou		11,5%		12,3%
	acerto		55,3%		59,7%
UNIÃO DA VITÓRIA Meteorológica	choveu	24,3%	1,8%	22,3%	4,5%
	não choveu	19,8%	54,1%	19,6%	53,6%
	superestimou		33,7%		33,2%
	subestimou		9,7%		11,8%
	acerto		56,6%		55,0%
UNIÃO DA VITÓRIA	choveu	24,8%	2,3%	23,3%	4,5%
	não choveu	19,1%	53,8%	19,4%	52,8%
	superestimou		26,4%		32,5%
	subestimou		10,4%		12,8%
	acerto		63,2%		54,7%

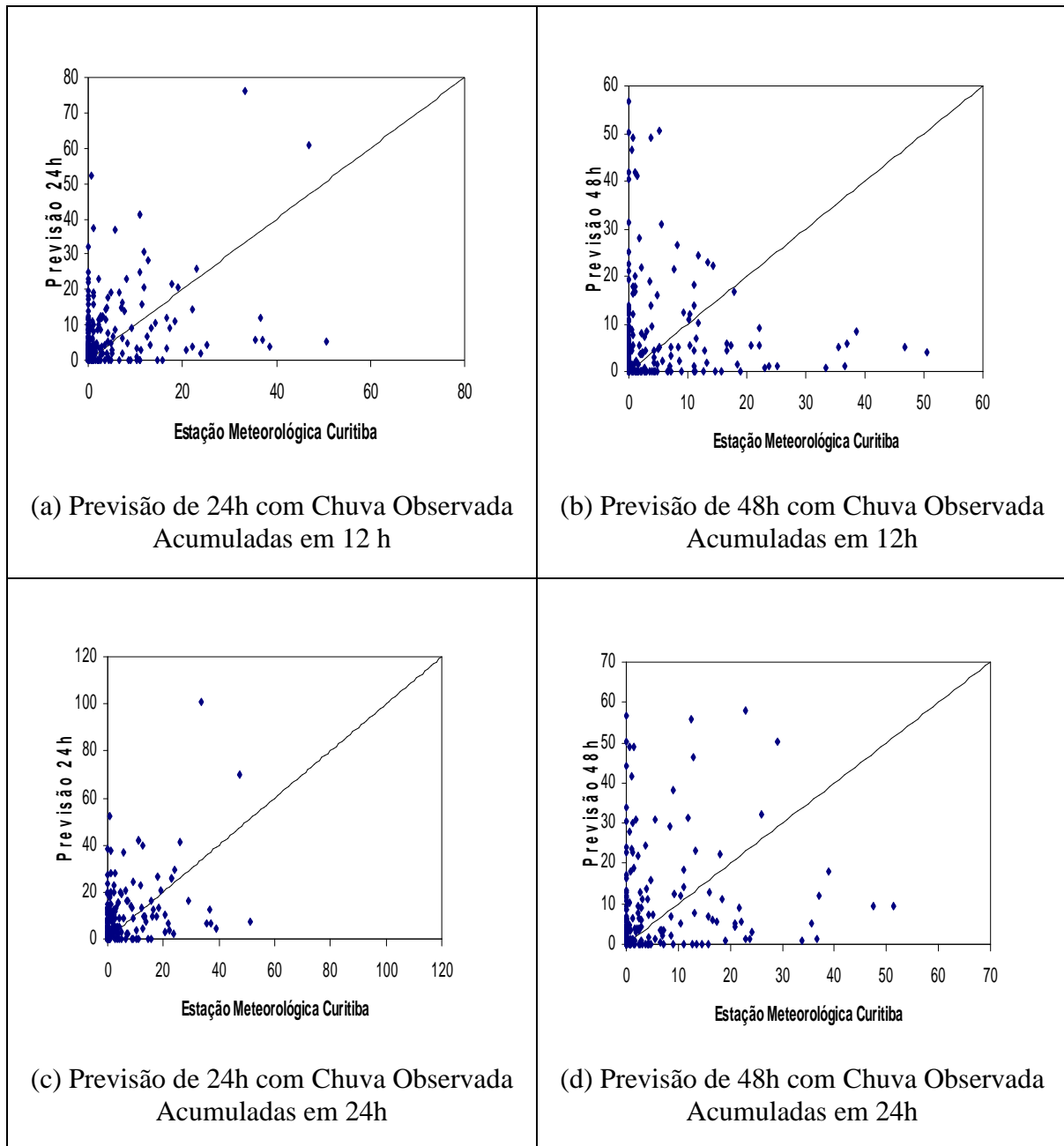


FIGURA 7 – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CURITIBA

Para a análise com chuvas acumuladas em 12 horas, observou-se que para um horizonte de previsão de 24 horas a porcentagem média de acertos entre as estações, dias com ou sem chuva, previstos pelo modelo, variou entre 35,6%, na estação de Fragosos (Figura 8) e 42,3%, na estação São Bento (Figura 9). Para as falhas a porcentagem média variou entre 7,7%, na estação São Bento e 14,3% na estação

Fragosos, sendo que a maior parte das falhas dá-se para dias secos em que o modelo previu chuvas. Para um horizonte de previsão de 48 horas a porcentagem de acertos esteve em torno destes mesmos valores, com uma diminuição de aproximadamente 1% e em consequência um aumento nas falhas nesta mesma proporção. Esta diferença foi menor do que o esperado, pois para um horizonte maior de previsão as probabilidades de erros tendem a ser maiores!

Com chuvas acumuladas em 24 horas, houve uma diminuição nos acertos, ficando em torno de 34,6%, na estação Fragosos (Figura 8) e 41,5%, na estação São Bento (figura 9), em média. Nas falhas, consequentemente, houve um aumento, ficando entre 15,4% na estação Fragosos, e 8,5% na estação São Bento. Como para as chuvas acumuladas em 12 horas, para o horizonte de 48 horas, o comportamento foi o mesmo.

Além disso, o modelo tende a superestimar as chuvas tanto para aquelas acumuladas em 12 como em 24 horas. Em média 29% dos casos correspondem a superestimativas e apenas 10% a subestimativas. A responsável pelo alto índice de acerto, aproximadamente 60%, neste caso, é a previsão de dias secos pelo modelo.

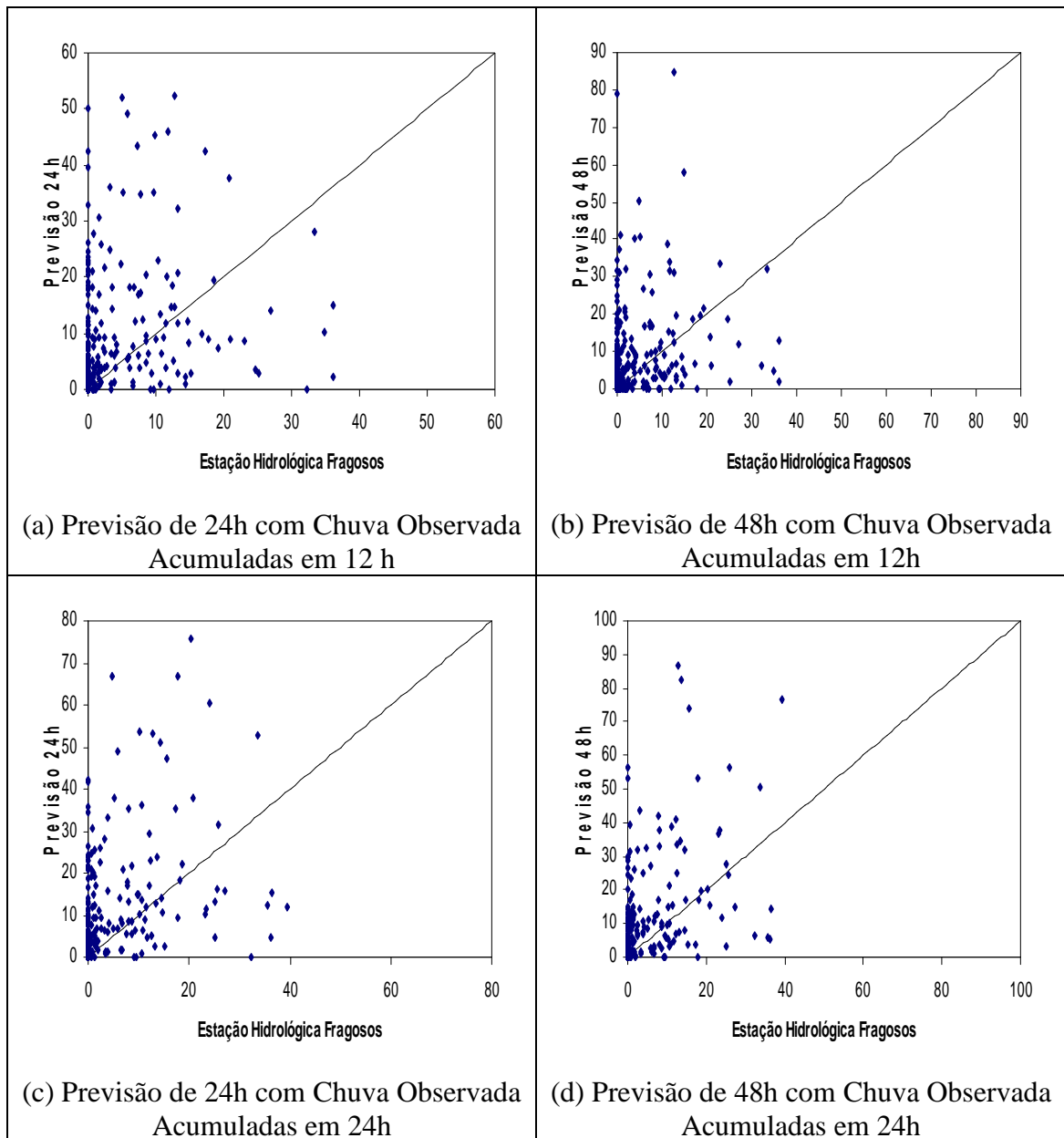


FIGURA 8 – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA FRAGOSOS

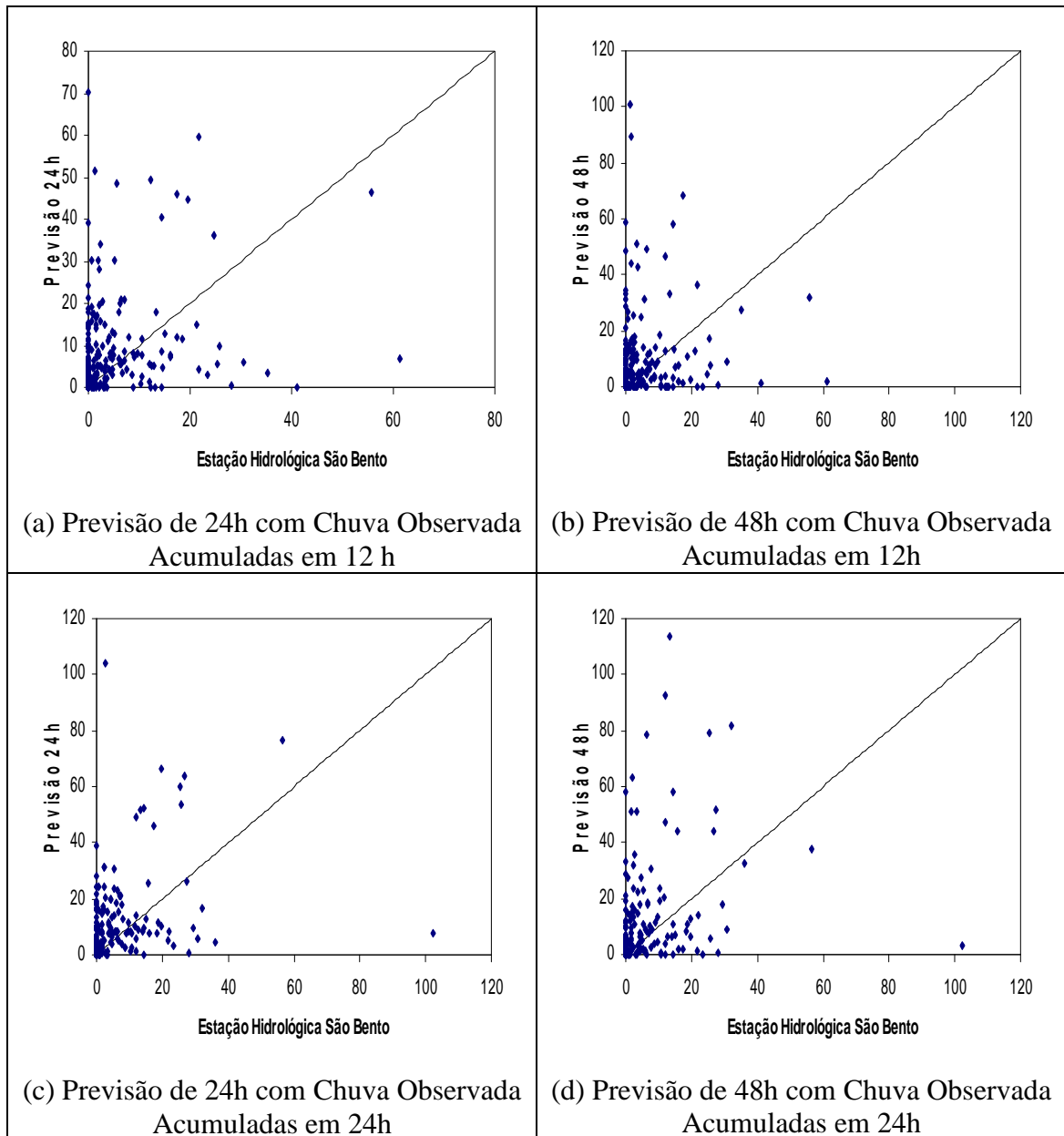


FIGURA 9– COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA SÃO BENTO

5.3 – ESQUEMA DE DESAGREGAÇÃO

A abordagem teórica apresentada no capítulo 4 fornece ferramenta necessária para estabelecer um esquema de desagregação da precipitação baseado no uso da distribuição exponencial como a distribuição espacial estatística da precipitação. Nos casos em que uma célula da malha for parcialmente coberta por precipitação, a distribuição exponencial estima a fração molhada, p , da célula da malha. Também, em casos onde uma intensidade mínima for maior que zero dentro da célula da malha, uma distribuição exponencial é usada com um parâmetro de locação b . Apresenta-se, primeiramente, a descrição geral do procedimento de desagregação de uma célula da malha (SKAUGEN, 2002). Em seguida, apresenta-se um procedimento mais detalhado para desagregação de um campo de precipitação previsto por um modelo atmosférico de previsão.

5.3.1 - Descrição Geral do Procedimento de Desagregação

5.3.1.1 - Desagregação de uma célula da malha

O campo de precipitação dos modelos globais consiste, normalmente, de N células ($w \times w$ em km) de uma malha, onde w depende do modelo, enquanto o campo desagregado consiste de $N \times I$ *pixels* (*Picture Element*) ($z \times z$ em km), onde I é o número de *pixels* e z depende das unidades de resposta hidrológica da bacia hidrográfica em questão. Os valores interpolados de *pixels* numa célula podem ser expressos por:

$$\bar{Y} = \bar{A}\bar{X}$$

onde:

\bar{Y} - vetor ($I \times I$)

\bar{A} - matriz ($I \times J$) de pesos derivados do método de interpolação escolhido;

\bar{X} - vetor ($J \times I$) de valores de entrada;

J – número de valores de entrada e depende do modelo atmosférico.

O vetor \bar{Y} é obtido simplesmente dividindo a célula em *pixels* e identificando cada *pixel* com um valor interpolado. Os componentes da matriz \bar{A} são derivados do método de interpolação escolhido. Pode-se utilizar, por exemplo, a técnica do inverso do quadrado da distância, tal que um conjunto fixo de pesos pode ser designado para cada *pixel*.

O método do inverso do quadrado da distância consiste em determinar as variáveis utilizando a variável a ser interpolada dividida pela distância ao quadrado do ponto de interesse, conforme a equação (32):

$$h_x = \frac{\sum_{i=1}^n h_h / d_{ix}^2}{\sum_{i=1}^n 1 / d_{ix}^2} \quad (32)$$

onde \bar{V} é um vetor ($I \times I$) de valores simulados ordenados, obtido de uma distribuição exponencial (com parâmetros determinados de \bar{X}) e organizado em ordem crescente.

Então \bar{Y} é um vetor da entrada interpolada organizada em ordem crescente, o campo desagregado \bar{Z} , pode ser expresso como:

$$\bar{Z}[i] = \bar{V}[\bar{Y}[i]] \text{ para todo } i=1, \dots, I \quad (33)$$

onde os colchetes indicam os componentes do vetor e também a locação (ex. $i=1$ é o *pixel* esquerdo mais baixo da célula da malha). O resultado pode ser descrito como um campo com valores de precipitação não nula distribuídos exponencialmente, com média e variância idênticas a das entradas (os valores nodais do modelo atmosférico) e com a mesma dependência temporal do campo interpolado \bar{Y} .

Este procedimento geral é local, no sentido que a interpolação de valores do *pixel* e a simulação dos valores de precipitação (e frações de intermitência) são operadas de acordo com os valores nodais de uma célula real da malha.

5.3.1.2 - Desagregação do campo de precipitação

Para desagregar um campo inteiro de um modelo GCM, pode-se repetir este procedimento de acordo com o número de células da malha. Contudo, este esquema

fornece um máximo local para cada célula da malha resultando em muitos picos e uma imagem irregular do evento espacial (SKAUGEN, 2001). Poder-se-ia, também, considerar um método estritamente global, no qual a simulação dos valores de precipitação, frações de intermitência e a interpolação são conduzidas baseadas em estimativas globais dos parâmetros. Este procedimento, que poderia ser obtido prontamente de parâmetros estatísticos globais e frações de zeros de diversos eventos, não foi investigado por Skaugen em suas pesquisas, uma vez que a distribuição exponencial não se aplica como uma distribuição espacial global. Este procedimento levaria a uma solução onde a simulação de valores da precipitação é dada localmente e a distribuição dos valores espaciais da precipitação é dada globalmente de acordo com a ordem global de valores de *pixels* interpolados localmente.

5.3 - DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCEDIMENTO DE DESAGREGAÇÃO

1. A cada dos I *pixels* na célula da malha é designado um valor interpolado dos valores nodais (valores dos quatro cantos). Utiliza-se o método do inverso do quadrado da distância. Este procedimento é repetido para as N células da malha. Aos *pixels* de valores interpolados é designado uma ordem (1 a $N \times I$) de tal forma a determinar a magnitude relativa da precipitação e sua localização dentro do campo de precipitação interpolado. O valor da ordem \bar{Y} da equação (33) é determinado, mas com $N \times I$ componentes.
2. A média e a variância espaciais da célula são estimadas dos valores nodais.
3. Avalia-se a relação entre a variância e a média incondicional da equação (30). Se esta relação é maior que a unidade, o campo de precipitação é intermitente com cobertura fracional p determinada da equação (30) e precipitação positiva com a célula distribuída exponencialmente, $f(z, \lambda)$. Se o raio for menor que a unidade, a célula é completamente coberta com a intensidade mínima b , e precipitação distribuída exponencialmente $f(z, \lambda, b)$.

4. No caso da intermitência da célula n , $p_n \times I$ são simulados de $f(z, \lambda)$ e $(1 - p_n)I$ são nulos. No caso de cobertura completa, I valores são simulados de $f(z, \lambda, b)$.
5. Os passos 1 a 4 são repetidos para cada célula da malha $1, \dots, N$.
6. Os $N \times I$ valores simulados são então ordenados e obtém-se o vetor \bar{V} de dimensão $I \times N$. O campo desagregado é então determinado pela equação (33).

$$\bar{Z}[i] = \bar{V}[\bar{Y}[i]] \quad \text{para todo } i=1, \dots, I-N \quad (33)$$

No caso de intermitência, os $\sum_{N=1}^N (1-p)I$ pixels mais baixos da ordem são assinalados como zero.

5.4 – APLICAÇÃO DO ESQUEMA DE DESAGREGAÇÃO

Para o estudo de caso, escolheu-se a área apresentada na figura 10, pelo fato da desagregação trabalhar com matrizes, quadradas ou retangulares. Com isso, esta região foi escolhida pela sua localização e importância dentro da bacia do rio Iguaçu, além disso, foi verificada a existência de eventos importantes que atendessem fatores como uma quantidade mínima de chuva de 10 mm por evento, nas estações Foz do Timbó, Santa Cruz do Timbó e Foz do Cachoeira, ou no caso de inexistência de chuvas superiores a este valor, que fosse o evento mais importante, ou seja, com o maior volume de chuva, ocorrido no mês, cobrindo assim todos os meses e estações do ano.

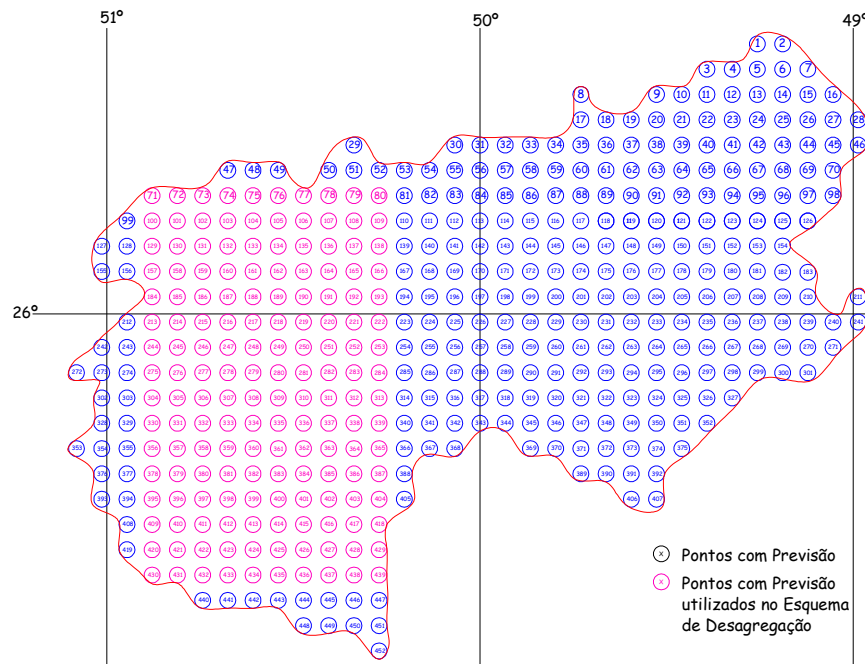


FIGURA 10 – PONTOS ESCOLHIDOS PARA O ESQUEMA DE DESAGREGAÇÃO

A partir das considerações citadas anteriormente, foram escolhidos 22 eventos, que foram caracterizados por CALVETTI e ARAUJO (2007) e estão apresentadas na tabela 5:

TABELA 5 – CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS ESCOLHIDOS

DATA	Caracterização
1/10/2005	Sistema frontal
17/10/2005	Interação de um sistema frontal com um sistema convectivo
29/10/2005	Sistema frontal com áreas convectivas
7/11/2005	Frente fria e linha de instabilidade (convecção) pós frontal
18/11/2005	Sistema convectivo
6/12/2005	Sistema frontal
17/12/2005	Sistema convectivo
4/1/2006	Estratiforme pela manhã e convecção no final da noite
18/1/2006	Sistema convectivo
22/1/2006	Sistema convectivo
5/2/2006	Áreas convectivas
20/2/2006	Linha de instabilidade no leste da bacia
2/3/2006	Sistema convectivo
4/3/2006	Áreas convectivas
21/3/2006	Várias áreas estratiformes com alguns núcleos convectivos
10/4/2006	Frente secundária
21/5/2006	Frente fria passou no dia anterior
11/6/2006	Frente fria passou no dia anterior
10/7/2006	Frente fria se propagou no dia anterior
17/8/2006	Pouca chuva e estratiforme
1/9/2006	Frente fria com bastante convecção em forma de núcleos e pequenas linhas
17/9/2006	Frente fria, mas na bacia as chuvas foram do tipo estratiforme.

O termo Linha de Instabilidade é utilizado para definir uma banda de precipitação que em geral se propaga entre 3 a 6 horas. Estas linhas podem ter comprimento de 50 a 200 km. Em geral, possuem uma linha de convecção, mas algumas podem ser apenas estratiformes; e Núcleo Convectivo são nuvens com grande profundidade vertical e que geram grande intensidade de chuva.

Tendo a caracterização dos tipos de chuva, para confirmação de que tanto chuvas frontais quanto convectivas seriam desagregadas, foram recortados da saída do modelo WRF, os pontos indicados na figura 10, para serem utilizados como entrada no modelo de desagregação. Assim, uma matriz (16 x 10) elementos, tendo como distância entre elementos 7,5 km, foi obtida para cada uma das datas escolhidas.

Para facilitar o acompanhamento do método em diversas etapas, o processo foi dividido em três etapas, a primeira, de interpolação dos dados, foi realizada em linguagem FORTRAN, a segunda foi a de simulação estatística, realizada em Excel, e a terceira, já com os resultados obtidos, é a etapa gráfica, realizada em MATLAB. Um exemplo de cada etapa e os códigos fontes utilizados estão demonstrados no Apêndice B.

Para cada data foi desagregado um par de dados, um com as previsões realizadas para o horizonte de 24 horas e o outro com as previsões realizadas para a mesma data, porém com 48 horas de antecedência. Com isso, para cada dia tem-se quatro mapas, dois com o campo previsto pelo modelo WRF e dois com o campo desagregado com seus respectivos horizontes de previsão.

De todos os eventos simulados, apenas os dias 04/01/2006 (Figura 11) e 18/01/2006, ambos com horizonte de previsão de 48 horas, continham células com cobertura intermitente, no restante dos eventos todas as células eram cobertas plenamente com uma intensidade de chuva mínima.

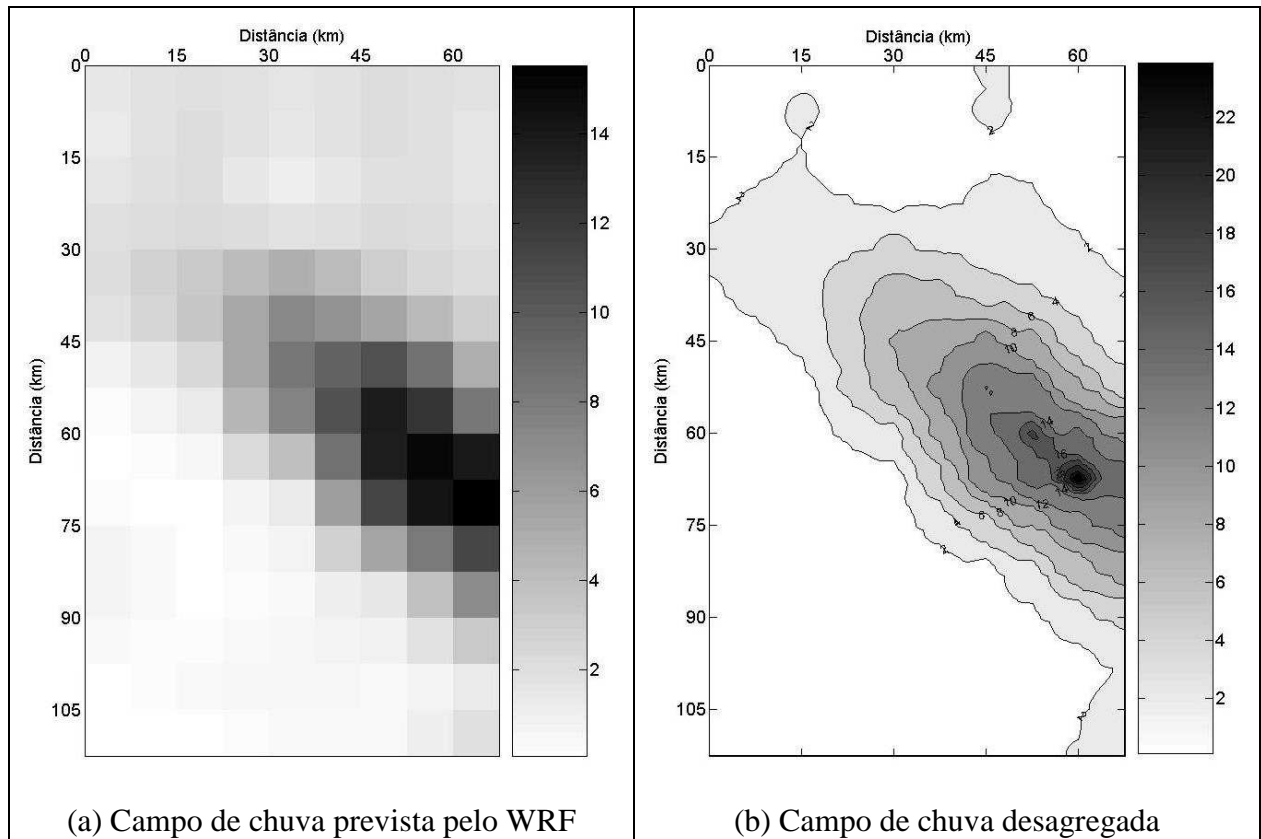


FIGURA 11 – EVENTO DE CHUVA EM 04/01/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

As Figuras 12 e 13 representam os eventos de chuva ocorridos em 01/10/2005 e 22/01/2006 com horizonte de previsão de 24 h, ilustram os dois tipos de chuva, frontal e convectiva, respectivamente.

Observa-se que o campo de chuva é mais homogêneo para casos de chuva frontal (figura 12) do que para casos de chuva convectiva, representado aqui pela Figura 13. Pode-se dizer que mais da metade do campo de chuva frontal é coberto pela mesma intensidade de chuva e as áreas com isoietas diferentes estão um pouco distantes, o que demonstra um evento mais uniforme. Nos gráficos de correlação espacial, apresentados no próximo item, demonstram a diferença entre os dois eventos.

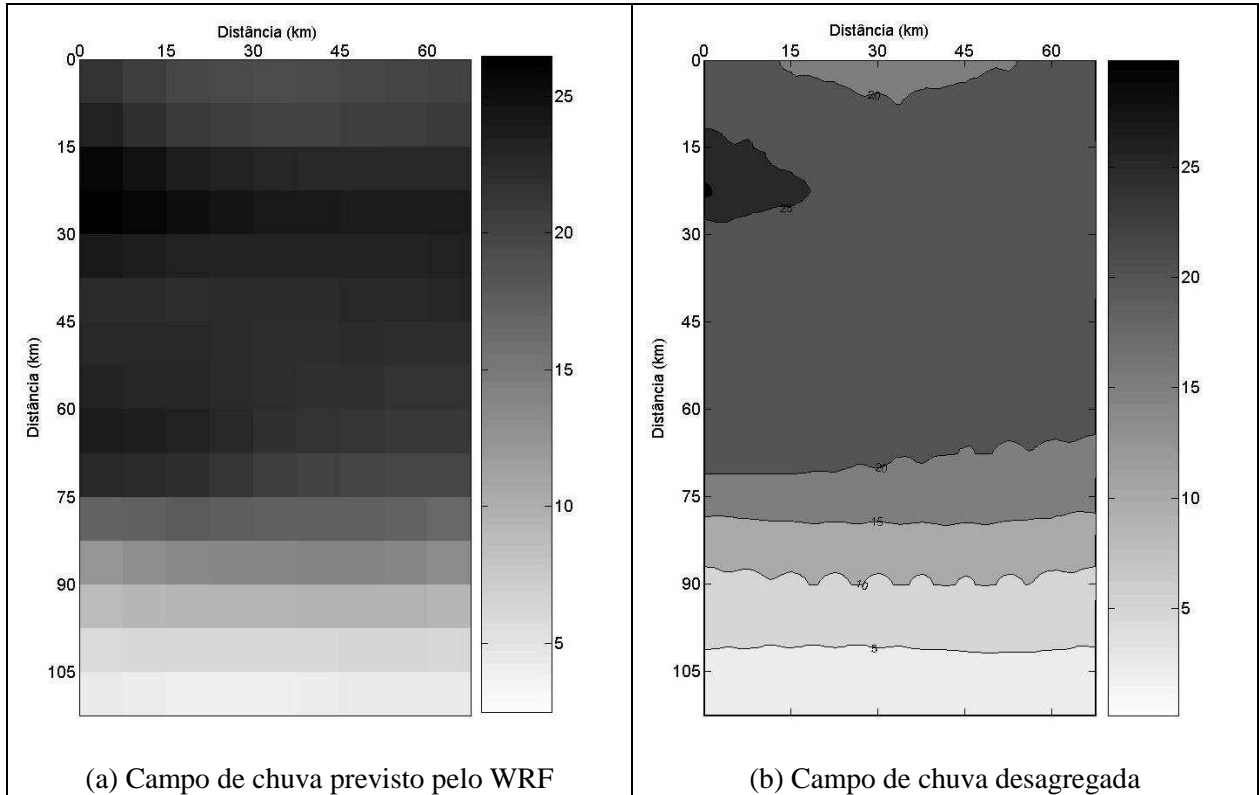


FIGURA 12 – EVENTO DE CHUVA EM 01/10/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS – CHUVA FRONTAL

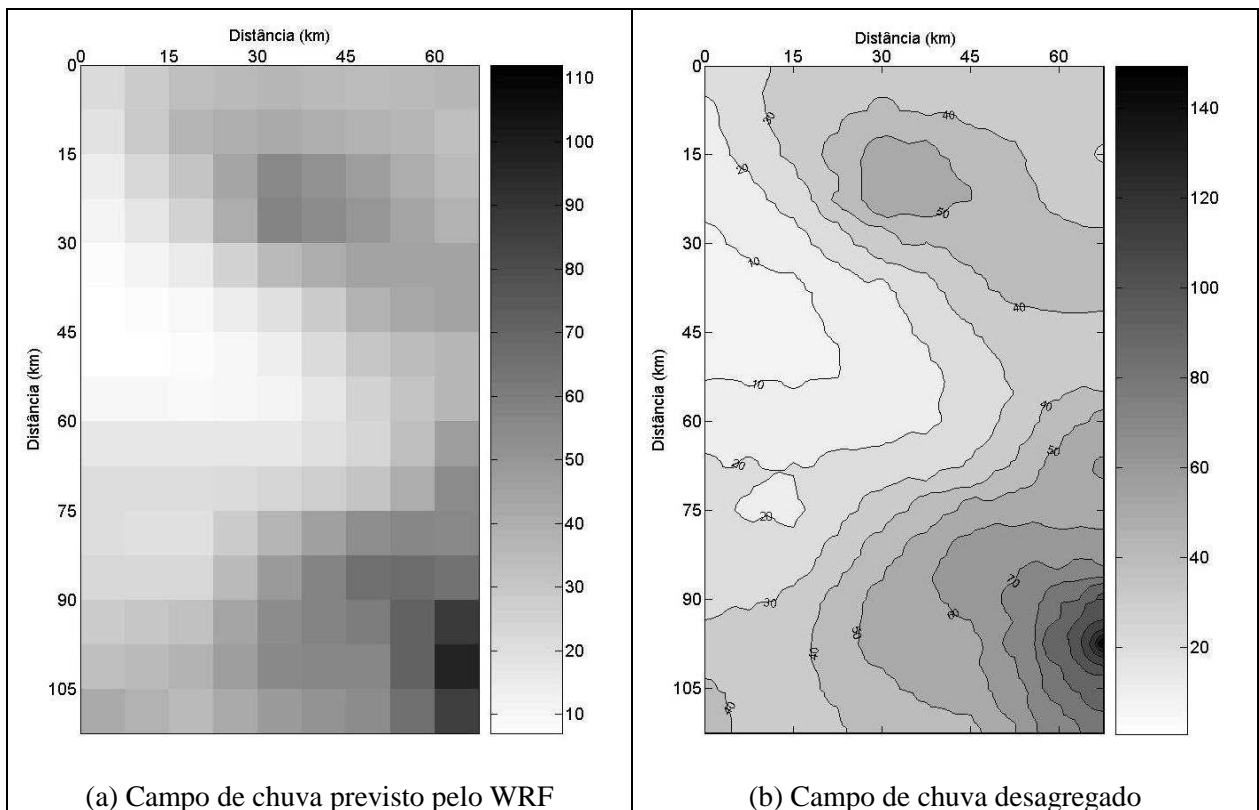


FIGURA 13 – EVENTO DE CHUVA EM 22/01/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS – CHUVA CONVECTIVA

Em todos os mapas de campo pode-se observar a semelhança entre o campo previsto pelo modelo atmosférico e o campo de chuva desagregada. A variação na quantidade de chuva é a mesma para os dois campos, porém o campo de chuva desagregada tende a ter intensidades de chuva mais altas do que a do campo previsto pelo modelo atmosférico, representada pela barra de cores. Os demais eventos estão apresentados no Apêndice C.

6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS DA DESAGREGAÇÃO

6.1 – ANÁLISE DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

O esquema de desagregação tem potencial para traduzir as seguintes propriedades estatísticas dos campos de precipitação: média espacial, variância espacial, intermitência e estrutura de correlação espacial.

Para todos os eventos selecionados foi realizada uma análise estatística dos campos do modelo atmosférico WRF e dos campos de chuva desagregados pelo método de Skaugen. Foi considerado, para os campos desagregados, valores médios de 10 simulações.

A análise dos parâmetros estatísticos considerou:

- o potencial do modelo de desagregação para reproduzir as médias da malha para todos os eventos selecionados;
- o comportamento do desvio padrão do campo de precipitação desagregado para todos os eventos;
- os erros padrão das médias das simulações;
- os erros padrão das médias para os valores máximos do campo de precipitação desagregado.

As tabelas 6 e 7 representam os resultados estatísticos, com horizonte de previsão de 24 horas e 48 horas, respectivamente. Os valores entre parênteses (“()”), são os erros padrão das médias calculados pela relação (OTT, 1992) $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, onde σ é o desvio padrão das simulações do parâmetro calculado e n é o número de simulações realizadas.

TABELA 6 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EVENTOS COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

Data	Fonte	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
1/10/2005	WRF	17,2	7,33	26,6	2,4
	Desagregado	17,57 (0,0060)	7,04 (0,0029)	36,8 (1,2554)	2,3 (0,0023)
17/10/2005	WRF	26,77	11,1	63,0	13,3
	Desagregado	26,53 (0,0066)	10,83 (0,0118)	86,9 (2,0884)	13,5 (0,0018)
29/10/2005	WRF	1,71	1,65	8,1	0,1
	Desagregado	1,59 (0,0008)	1,44 (0,0038)	15,2 (0,4489)	0,1 (0,0002)
7/11/2005	WRF	14,27	3,9	26,6	8,5
	Desagregado	14,01 (0,0018)	3,73 (0,0033)	35,8 (0,8656)	8,4 (0,0031)
18/11/2008	WRF	1,99	2,35	13,0	0,0
	Desagregado	1,99 (0,0014)	2,29 (0,0033)	21,2 (1,1259)	0,0 (0,0000)
6/12/2005	WRF	13,15	16,9	77,0	1,6
	Desagregado	12,64 (0,0139)	15,98 (0,0295)	131,3 (6,7549)	1,6 (0,0009)
17/12/2005	WRF	6,07	1,85	14,3	3,4
	Desagregado	5,92 (0,0018)	1,78 (0,0054)	26,8 (2,3655)	3,3 (0,0016)
4/1/2006	WRF	6,16	3,61	19,2	0,3
	Desagregado	6,15 (0,0030)	3,34 (0,0072)	35,6 (1,5562)	0,2 (0,0007)
18/1/2006	WRF	5,6	5,91	24,4	0,1
	Desagregado	5,24 (0,0015)	5,42 (0,0030)	35,0 (0,9144)	0,1 (0,0001)
22/1/2006	WRF	37,93	19,89	112,4	6,5
	Desagregado	37,53 (0,0169)	19,34 (0,0257)	171,4 (5,6538)	6,4 (0,0066)
5/2/2006	WRF	20,34	4,17	28,0	12,5
	Desagregado	20,47 (0,0029)	4,1 (0,0037)	40,7 (0,6729)	12,4 (0,0016)
20/2/2006	WRF	12,23	3,27	19,4	5,0
	Desagregado	12,24 (0,0039)	3,44 (0,0036)	31,2 (0,7879)	4,8 (0,0013)
2/3/2006	WRF	13,23	3,99	21,6	7,0
	Desagregado	12,79 (0,0027)	4 (0,0055)	32,2 (0,4101)	6,8 (0,0025)
4/3/2006	WRF	31,45	9,05	59,7	21,5
	Desagregado	30,63 (0,0064)	8,66 (0,0112)	90,8 (1,5423)	21,6 (0,0081)
21/3/2006	WRF	12,09	6,82	25,2	1,4
	Desagregado	12 (0,0029)	6,68 (0,0027)	33,3 (0,6890)	1,3 (0,0009)
10/4/2006	WRF	4,52	1,13	7,0	2,6
	Desagregado	4,5 (0,0012)	1,12 (0,0008)	12,6 (0,5326)	2,6 (0,0005)
21/5/2006	WRF	1,02	0,65	3,1	0,0
	Desagregado	1,03 (0,0003)	0,6 (0,0008)	4,8 (0,1228)	0,0 (0,0003)
11/6/2006	WRF	5,43	2,41	10,3	1,6
	Desagregado	5,55 (0,0016)	2,44 (0,0019)	16,6 (0,5531)	1,5 (0,0011)
10/7/2006	WRF	3,64	3,32	11,8	0,6
	Desagregado	3,51 (0,0011)	3,17 (0,0019)	17,2 (0,3513)	0,6 (0,0001)
17/8/2006	WRF	5,09	4,31	16,6	0,5
	Desagregado	4,87 (0,0024)	4,08 (0,0030)	23,7 (0,6276)	0,5 (0,0001)
1/9/2006	WRF	19,85	1,85	24,6	14,9
	Desagregado	19,92 (0,0015)	1,86 (0,0024)	33,0 (0,7737)	14,9 (0,0019)
17/9/2006	WRF	11,76	7,21	23,3	0,8
	Desagregado	11,63 (0,0030)	7,12 (0,0017)	28,9 (0,5339)	0,8 (0,0013)

NOTA: Valores entre parênteses (“()”), é o erro padrão das médias

TABELA 7 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EVENTOS COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

Data	Fonte	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
1/10/2005	WRF	0,69	0,21	1,4	0,3
	Desagregado	0,67 (0,0002)	0,2 (0,0003)	2,4 (0,0461)	0,3 (0,0001)
17/10/2005	WRF	29,13	9,8	46,1	6,4
	Desagregado	29,45 (0,0071)	9,23 (0,0056)	67,5 (1,7463)	6,2 (0,0040)
29/10/2005	WRF	13,26	6,6	34,2	6,8
	Desagregado	12,83 (0,0033)	6,13 (0,0054)	53,3 (1,9143)	6,7 (0,0013)
7/11/2005	WRF	5,9	2,34	11,4	1,7
	Desagregado	5,86 (0,0013)	2,21 (0,0019)	17,6 (0,4702)	1,6 (0,0004)
18/11/2008	WRF	1,48	0,97	5,2	0,1
	Desagregado	1,43 (0,0005)	0,9 (0,0013)	8,4 (0,3335)	0,1 (0,0003)
6/12/2005	WRF	11,4	14,61	73,9	0,9
	Desagregado	9,63 (0,0124)	12,72 (0,0201)	120,7 (6,4604)	0,5 (0,0030)
17/12/2005	WRF	19,95	6,72	38,2	10,2
	Desagregado	19,85 (0,0056)	6,66 (0,0049)	56,7 (0,6343)	10,2 (0,0013)
4/1/2006	WRF	3,11	3,72	15,6	0,0
	Desagregado	3,27 (0,0036)	3,84 (0,0075)	33,0 (2,5509)	0
18/1/2006	WRF	5,72	12,92	86,7	0
	Desagregado	4,56 (0,0102)	10,58 (0,0416)	156,1 (5,5394)	0
22/1/2006	WRF	57,1	31,9	143,2	4
	Desagregado	58,6 (0,0294)	31,3 (0,0372)	264,6 (8,6495)	2,6 (0,0366)
5/2/2006	WRF	9,24	4,76	21,9	1,6
	Desagregado	9,07 (0,0030)	4,83 (0,0049)	30,6 (0,5141)	1,6 (0,0010)
20/2/2006	WRF	17,63	7,48	29,0	6,0
	Desagregado	17,46 (0,0032)	7,38 (0,0022)	34,2 (0,2792)	6,2 (0,0008)
2/3/2006	WRF	16,14	5,45	30,7	8,4
	Desagregado	15,98 (0,0030)	5,4 (0,0054)	39,3 (0,8595)	8,2 (0,0019)
4/3/2006	WRF	25,47	8,87	47,3	12,7
	Desagregado	25,18 (0,0033)	8,71 (0,0024)	60,1 (1,8033)	12,7 (0,0019)
21/3/2006	WRF	15,42	2,64	24,1	10,5
	Desagregado	15,27 (0,0021)	2,67 (0,0051)	36,8 (0,4564)	10,5 (0,4564)
10/4/2006	WRF	4,10	1,10	6,9	2,5
	Desagregado	4,09 (0,0008)	1,09 (0,0016)	11,1 (0,3956)	2,4 (0,0008)
21/5/2006	WRF	0,67	0,46	1,7	0,0
	Desagregado	0,67 (0,0004)	0,45 (0,0004)	2,8 (0,0568)	0,0 (0,0001)
11/6/2006	WRF	14,19	5,69	22,8	2,5
	Desagregado	14,33 (0,0027)	5,54 (0,0013)	29,8 (0,5257)	2,5 (0,0005)
10/7/2006	WRF	3,37	0,91	5,5	1,9
	Desagregado	3,29 (0,0007)	0,88 (0,0006)	7,8 (0,1265)	1,9 (0,0007)
17/8/2006	WRF	21,32	6,82	32,9	5,7
	Desagregado	21,83 (0,0056)	6,58 (0,0044)	51,5 (2,2725)	5,6 (0,0026)
1/9/2006	WRF	28,36	11,65	52,0	11,2
	Desagregado	27,96 (0,0034)	11,18 (0,0047)	66,5 (0,8574)	11,3 (0,0032)
17/9/2006	WRF	3,24	2,84	12,9	0,4
	Desagregado	3,08 (0,0013)	2,61 (0,0017)	17,1 (0,4962)	0,5 (0,0001)

NOTA: Valores entre parênteses (“()”), é o erro padrão das médias

As linhas em cinza representam os eventos que apresentaram células com cobertura intermitente de chuva.

A média e o desvio padrão para toda a malha, para todos os eventos, são preservados pelo modelo de desagregação de Skaugen, com valores de erros padrões com magnitudes variando na 2ª ou 3ª casa decimal, o que indica um procedimento de simulação estável. Nas figuras 14 e 15 estão representados a comparação entre o modelo atmosférico de previsão de chuva WRF e o método de desagregação, as médias da malhas e o desvio padrão, respectivamente, facilitando a visualização de cada evento. Pode-se observar que para ambos casos o resultado está muito próximo da linha de 45 graus, o que realmente indica estabilidade.

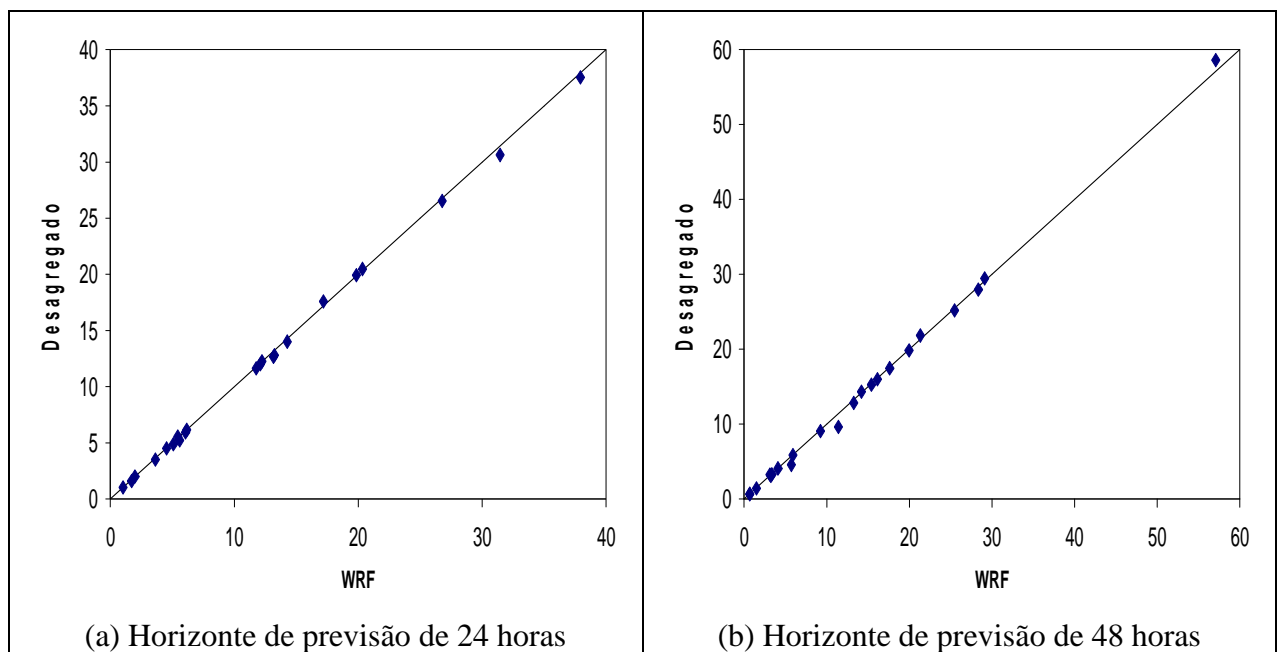


FIGURA 14 – COMPARAÇÃO ENTRE A MÉDIA DO MODELO WRF E DO MÉTODO DE SKAUGEN

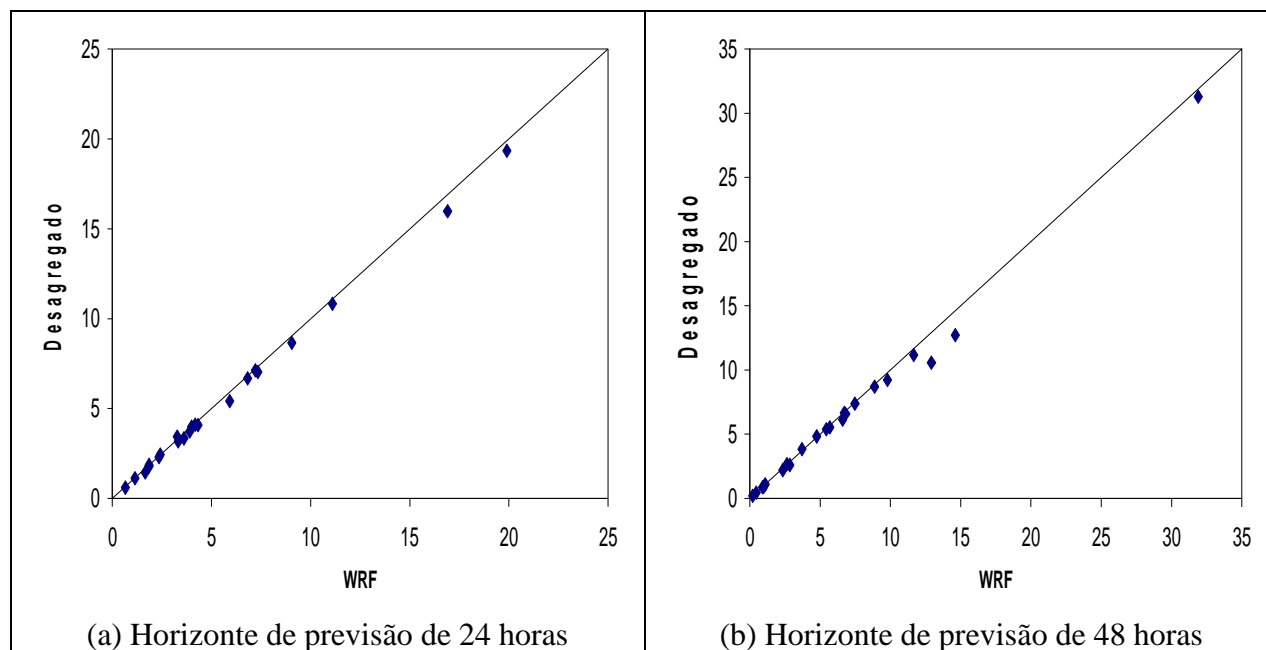


FIGURA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE O DESVIO PADRÃO DO MODELO WRF E DO MÉTODO DE SKAUGEN

Para os valores de máximos, os erros calculados foram maiores, pois a variabilidade local é verificada pelos altos valores simulados, isso não implica em uma deficiência do modelo, mas sim na sua capacidade em identificar magnitudes e locais potenciais de ocorrência de valores máximos, o que é de importância fundamental para a Hidrologia, especialmente para propósitos de previsão de cheias. Utilizando modelagem hidrológica distribuída, o tempo de pico e a magnitude de cheias rápidas (*flash floods*) podem ser melhor previstos com campos de chuva desagregados, os locais de pico e a magnitude podem ser observados no mapas dos campos de chuva desagregada (figuras 11,12,13).

A comparação entre os valores máximos do modelo de previsão WRF e do campo desagregado está demonstrada na figura 16, onde pode-se observar que, tanto para o horizonte de 24 horas como para o de 48 horas, os valores máximos obtidos pelo método de Skaugen são sempre maiores que o do previsto pelo WRF.

Os valores mínimos (figura 17) comparados entre o modelo e o método de Skaugen, mantêm uma estabilidade, confirmando os erros padrões das médias apresentados nas tabelas 6 e 7.

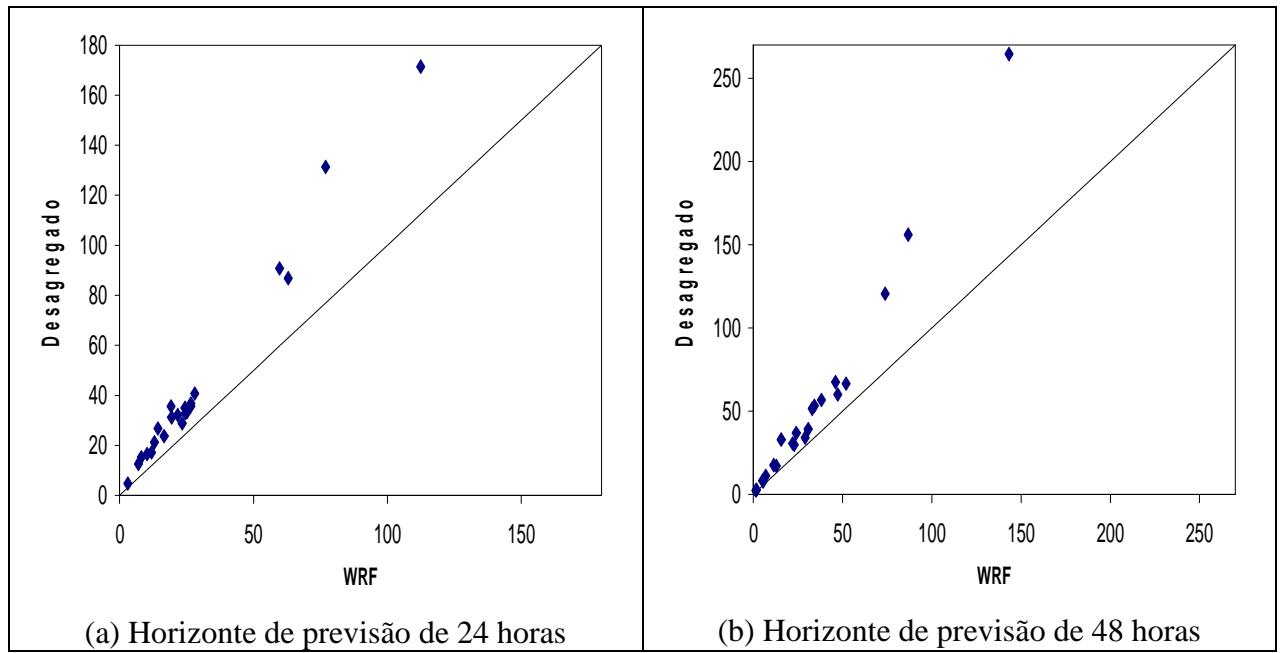


FIGURA 16 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES MÁXIMOS DO MODELO WRF E DO MÉTODO DE SKAUGEN

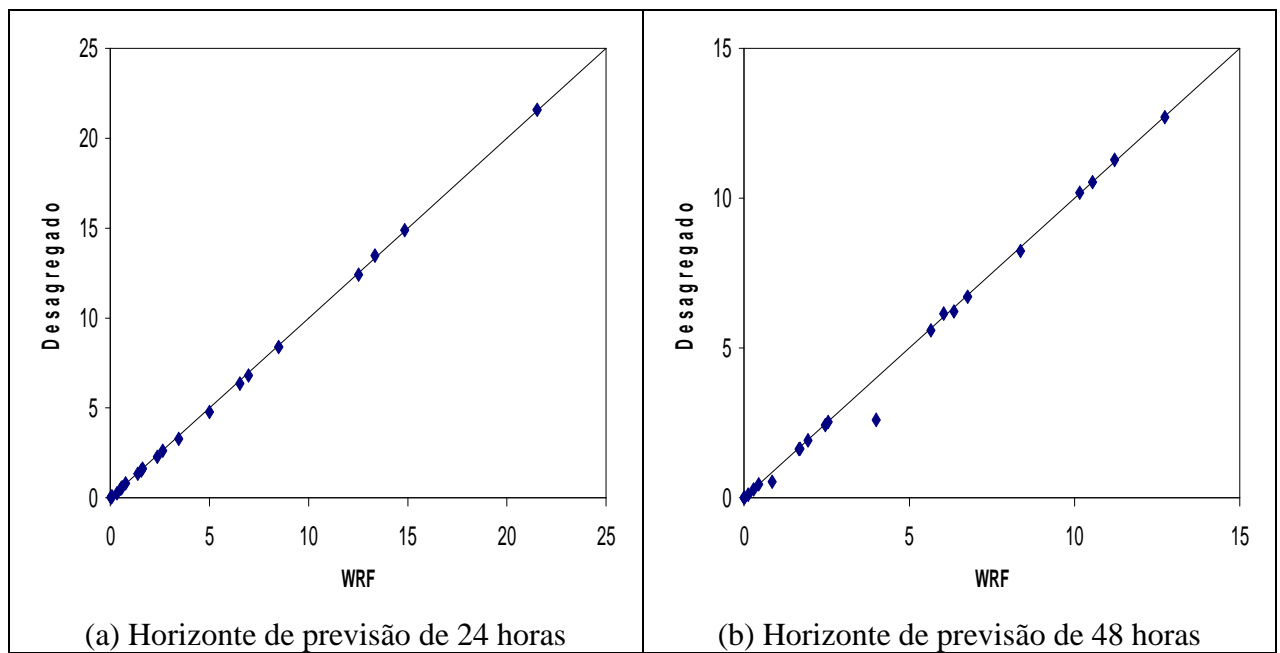


FIGURA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES MÍNIMOS DO MODELO WRF E DO MÉTODO DE SKAUGEN

6.2 - COMPARAÇÃO COM VALORES OBSERVADOS

Outro ponto importante considerado foi o cálculo da chuva média na bacia, onde foi realizada a comparação entre os eventos desagregados e chuva nas estações telemétricas que se encontram na área de estudo. Como era esperado, devido as diferenças entre o previsto pelo modelo WRF e a chuva observada pelas estações apresentadas na seção 5.2, a chuva média calculada variou conforme os resultados do modelo, tanto para o horizonte de previsão de 24 horas como para o de 48 horas.

O método de Thiesen foi utilizado para o cálculo da chuva média nas estações que se encontram dentro da área ou que exercem influência sobre ela, sendo as estações utilizadas: Divisa, Pontilhão, Fluviópolis, União da Vitória, Foz do Timbó, Santa Cruz do Timbó e Foz do Cachoeira. Para o cálculo da chuva média no campo de chuva desagregada, usou-se o método das isoietas, a partir dos mapas traçados no método de simulação. Os resultados para ambos estão apresentados na tabela 8 e nas figuras 18 e 19.

TABELA 8 – CHUVA MÉDIA NA ÁREA DESAGREGADA

Evento	Data	Chuva Observada	Método de Skaugen HP=24h	Método de Skaugen HP=48h
1	01/10/2005	20,1	17,1	0,6
2	17/10/2005	32,8	26,9	29,1
3	29/10/2005	55,0	1,7	13,0
4	07/11/2005	27,2	13,9	5,8
5	18/11/2005	8,3	2,41	1,5
6	06/12/2005	10,8	15,7	11,2
7	17/12/2005	6,4	6,6	18,7
8	04/01/2006	12,8	6,2	3,3
9	18/01/2006	25,9	6,6	6,6
10	22/01/2006	5,5	37,8	60,7
11	05/02/2006	8,3	20,3	8,8
12	20/02/2006	5,7	12,2	17,4
13	02/03/2006	9,7	13,1	16,0
14	04/03/2006	9,0	30,3	25,4
15	21/03/2006	20,2	11,9	15,0
16	10/04/2006	11,7	4,5	4,1
17	21/05/2006	4,7	1,1	0,8
18	11/06/2006	1,7	6,2	4,8
19	10/07/2006	20,8	3,5	3,3
20	17/08/2006	33,7	4,9	22,2
21	01/09/2006	16,2	20,6	28,3
22	17/09/2006	10,5	11,7	3,3

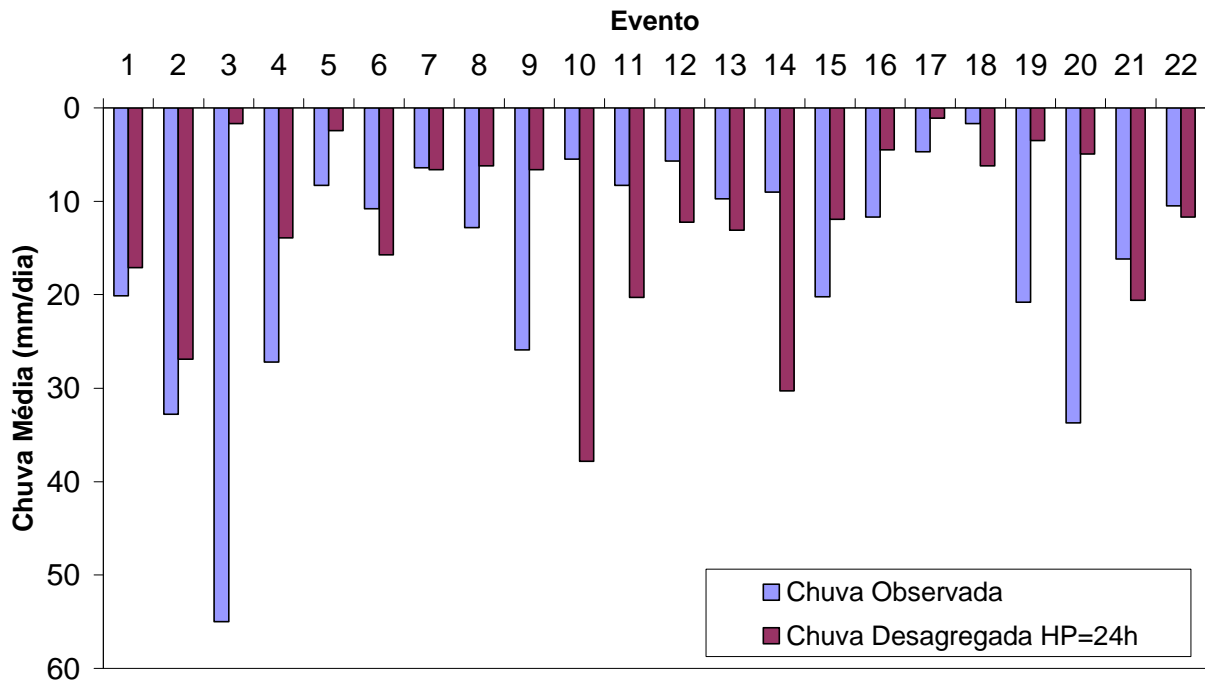


FIGURA 18 – COMPARAÇÃO ENTRE A CHUVA MÉDIA OBSERVADA E A CHUVA MÉDIA DESAGREGADA COM HP=24h.

No evento 7, referente a data de 17/12/2005, verificou-se o melhor resultado, onde a chuva observada e o modelo de previsão mais se aproximaram na quantidade de chuva precipitada sobre a área, já no evento 3, em 29/10/2005, foi verificada a maior diferença entre a previsão do modelo WRF e a chuva observada pelas estações telemétricas, para o horizonte de previsão de 24 horas (Figura 18).

Para o horizonte de previsão de 48 horas (Figura 19), os eventos que apresentaram os melhores resultado foram o 6, em 06/12/2005, e o 11, em 05/12/2006. A maior diferença entre a quantidade de chuva observada e prevista observa-se no evento 10, em 22/01/2006.

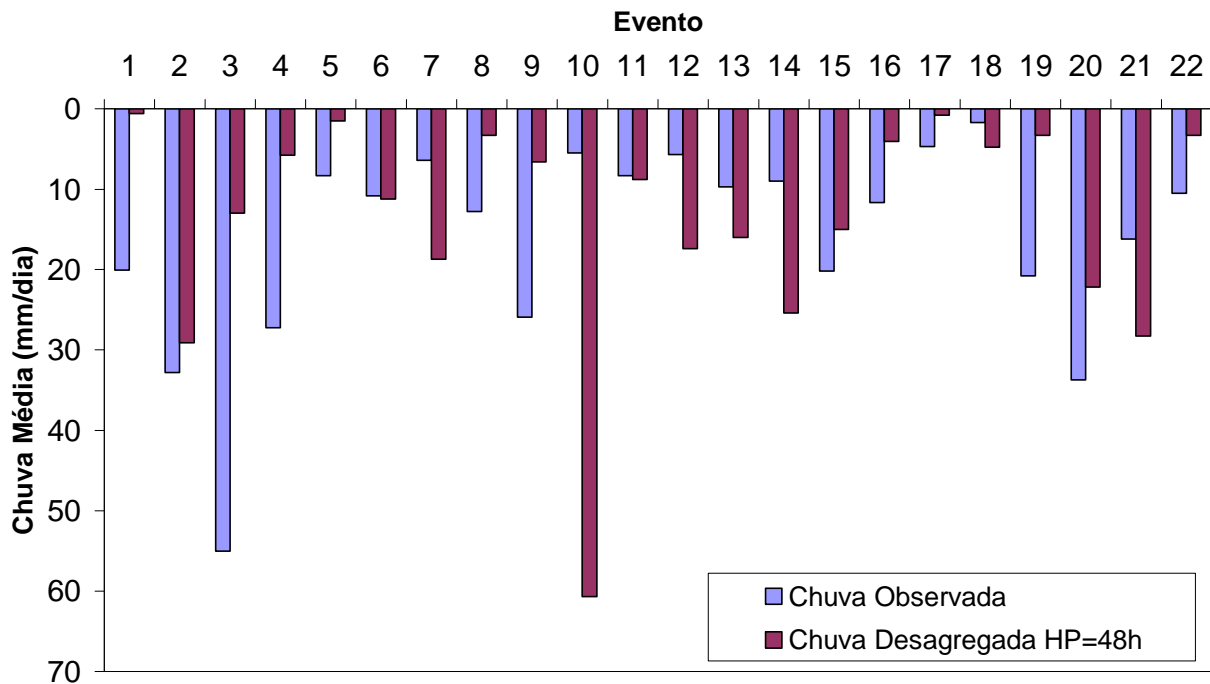


FIGURA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE A CHUVA MÉDIA OBSERVADA E A CHUVA MÉDIA DESAGREGADA COM HP=48h.

Os valores máximos verdadeiros de precipitação do campo desagregado são difíceis de serem avaliados devido à não disponibilidade de observações da chuva máxima no campo real de precipitação. Também, quando da validação do campo desagregado em função do observado, fica difícil distinguir se os erros são provenientes do modelo atmosférico ou do modelo de desagregação proposto por Skaugen, ou ainda, da própria série observada.

6.3 - CORRELAÇÃO ESPACIAL

Análise da estrutura de correlação dos campos de chuva dos modelos atmosféricos e de desagregação é de grande importância. Este tipo de estudo permite verificar se a estrutura de correlação do campo desagregado reproduz a do campo do modelo atmosférico.

É possível analisar a estrutura de correlação dos diversos eventos estudados que pode variar muito em função do tipo de precipitação, frontal ou convectiva e do método de interpolação utilizado. Esta observação é consistente com o obtido por SKAUGEN

(1997) onde diferentes estruturas de correlação para interpolações de *Kriging* foram usadas numa classificação de processos em pequena escala (temporais) e grande escala (chuvas frontais).

Para obtenção da correlação espacial é necessária a obtenção do semi-variograma, neste caso obtido pelo programa *Surfer 8.0, Golden Software, Inc.* O semi-variograma permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um evento regionalizado (HAINING, 2003). Sua expressão matemática experimental é:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(i,j) \in (h)} (z_i - z_j)^2 \quad (34)$$

onde: N é o número de pares de z distanciados em h , z são os valores a serem estudados.

A relação entre o semi-variograma e a correlação espacial é dada pela equação:

$$R(h) = 1,0 - \frac{\gamma(h)}{C(0)} \quad (35)$$

onde: $R(h)$ é a correlação espacial e $C(0)$ é a covariância quando $h = 0$. Sendo que $C(0) = \gamma(\infty)$, tendo em vista que todas estas relações são experimentais (HAINING,2003).

A diferença entre a correlação espacial de uma precipitação frontal para uma convectiva é a taxa de decaimento. Para a chuva frontal (Figura 20), ela é menor, ou seja, a curva de correlação tem um ângulo de inclinação menor do que para chuvas convectivas (Figura 21). Outra observação importante é o fato de que a correlação decresce quanto maior for a distância entre os pontos.

Analisando as figura 20 e 21, pode-se observar que, para estes casos, o método de desagregação reproduziu com certa exatidão o campo do modelo atmosférico WRF, o que se deve ter cuidado que nem sempre o modelo atmosférico reproduz o mesmo tipo de chuva observada.

Já nas figura 22 e 23, apesar de, nos dois casos, as curvas de correlação entre o modelo WRF e o método de Skaugen não coincidirem totalmente, pode-se observar que elas possuem a mesma tendência no decaimento. Para o caso do evento 29/10/2005 (Figura 22), a dispersão dos pontos de correlação do modelo WRF é devido ao fato de

ser um evento frontal, porém com áreas de instabilidade (Tabela 8). As curvas de correlação para o evento 17/12/2005, (Figura 23), coincidem nos primeiros quilômetros, porém para distâncias maiores ocorre um deslocamento.

Os demais gráficos de correlação estão apresentados no Apêndice D.

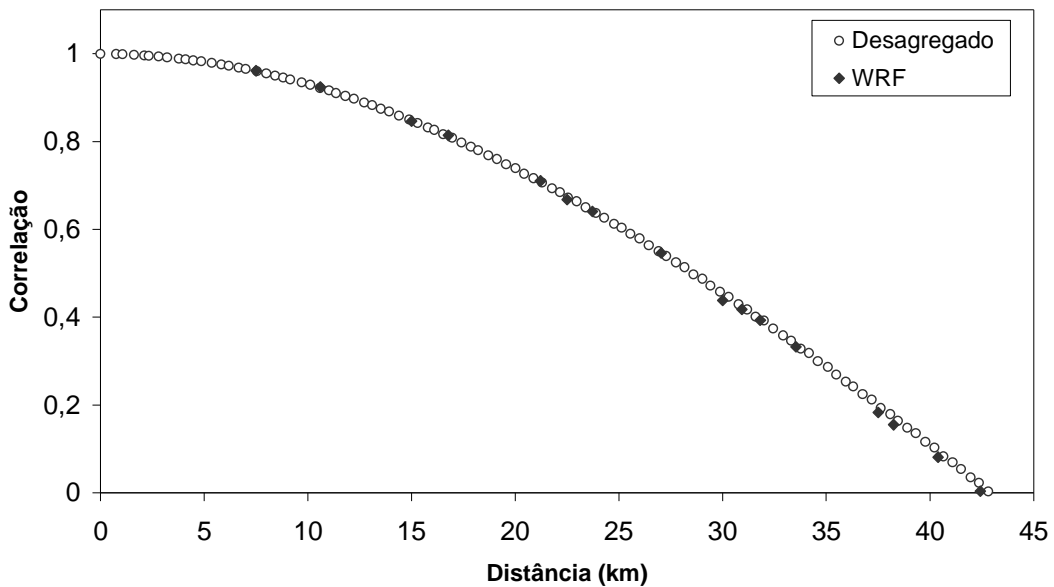


FIGURA 20 – CORRELAÇÃO ESPACIAL – 01/10/2005 HP=24 h

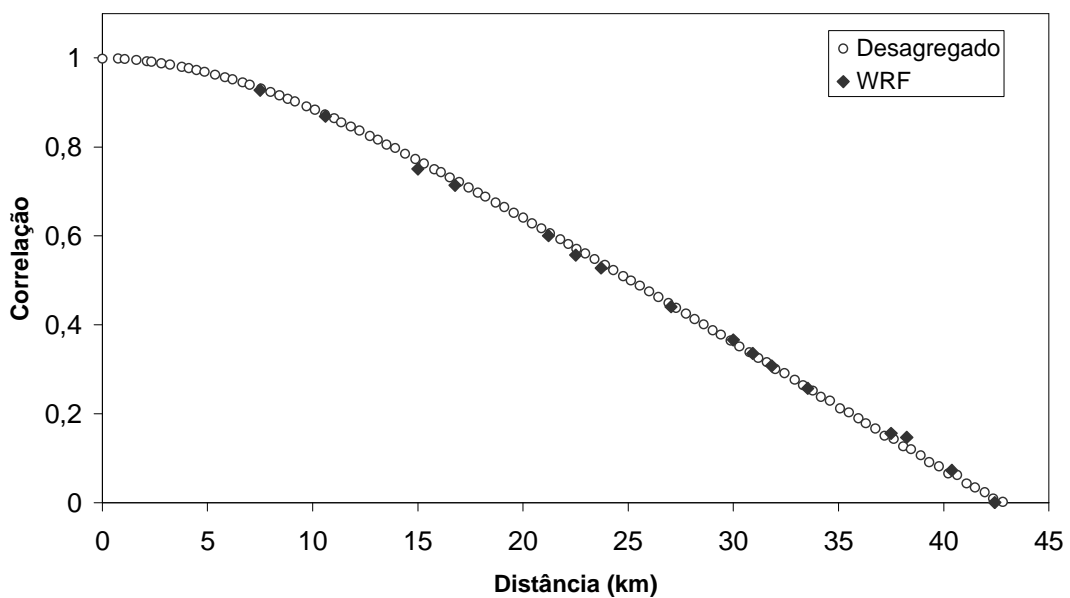


FIGURA 21 – CORRELAÇÃO ESPACIAL – 22/01/2006 HP=24 h

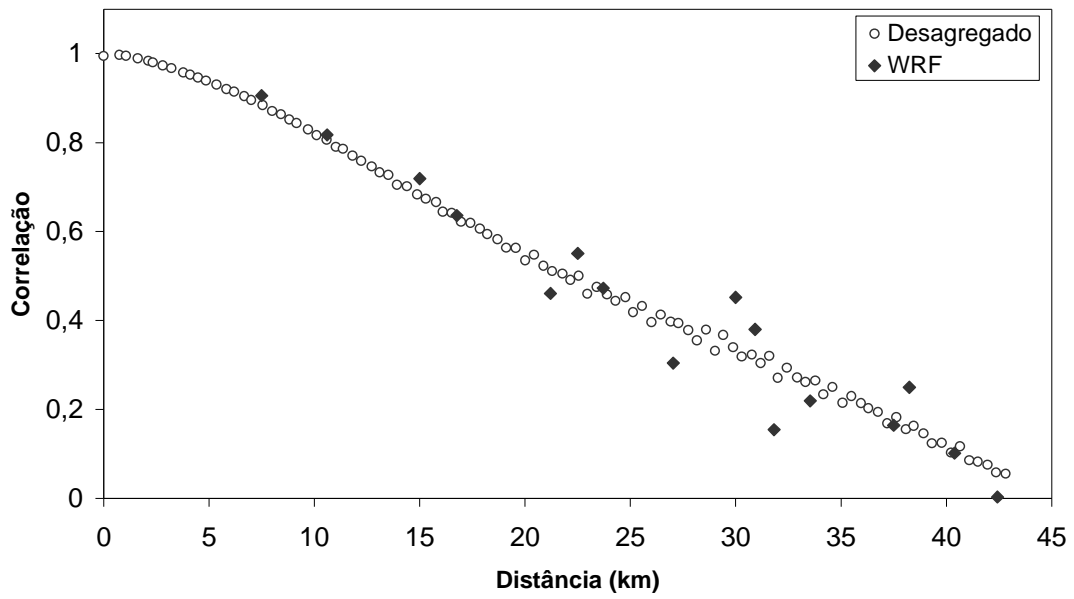


FIGURA 22 – CORRELAÇÃO ESPACIAL – 29/10/2005 HP=24 h

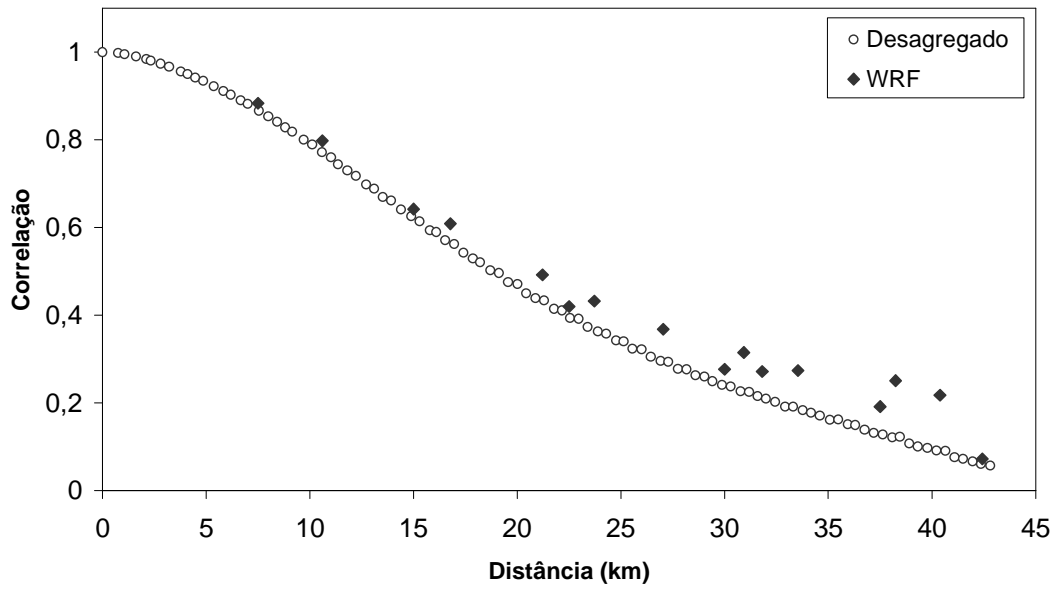


FIGURA 23 – CORRELAÇÃO ESPACIAL – 17/12/2005 HP=24 h

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal deste trabalho consiste em aplicar o método de desagregação proposto por SKAUGEN (2002) para o modelo atmosférico de previsão de chuva WRF e verificar sua evolução, uma vez que o método é um sistema dinâmico não linear.

A bacia do rio Iguaçu foi escolhida, primeiramente pela sua importância no setor elétrico e depois pela quantidade de dados disponíveis na região tanto da rede telemétrica como do modelo de previsão, para comparar e fazer uma análise qualitativa das previsões numéricas de chuva com cada estação de observação da bacia. Os resultados desta análise indicaram uma baixa relação entre a quantidade de chuva prevista pelo modelo atmosférico e a das observações pelas estações telemétricas. Apesar disso o modelo tem uma boa capacidade de prever eventos de chuva ou dias secos, o que também é importante para o caso.

O método de desagregação da chuva adota a dependência espacial derivada da interpolação e utiliza a distribuição estatística global da precipitação com uma mistura de distribuições exponenciais dependendo do tipo de cobertura de chuva na célula. A distribuição exponencial representa bem, tanto eventos de chuva intermitentes, $f(z,\lambda)$, quanto eventos com uma intensidade mínima na célula da malha do modelo atmosférico, $f(z,\lambda,b)$.

Para a aplicação do esquema de desagregação foi utilizada uma área de 7594 km², ou seja, uma malha de (16 x 10) elementos espaçados em 7,5 km, pois era necessária uma malha quadrada ou retangular, essa área foi escolhida por cobrir toda a região a montante de União da Vitória.

A escala de desagregação escolhida foi de (0,75 km x 0,75 km) uma vez que a saída do modelo atmosférico havia sido previamente interpolada em (7,5 km x 7,5 km), facilitando assim a simulação, o que não impede de ser escolhida outra escala, dependendo do uso a que se destine.

Os eventos de chuva foram selecionados avaliando a quantidade de chuva ocorrida na região e que foram previstas pelo modelo, que houvesse pelo menos um evento em cada mês de forma a cobrir o período de 1 ano e todas as suas estações e também conforme o tipo de chuva ocorrida, tanto oriundas de sistemas frontais como convectivos. Vinte e dois eventos foram selecionados, onde cada um foi previsto para os horizontes de 24 e 48 horas.

Com a região e os eventos a serem desagregados aplicou-se o método de desagregação de Skaugen; além da saída numérica foram gerados mapas de isoietas para facilitar a visualização do resultado.

Foram analisadas a média e o desvio padrão do campo desagregado, onde obteve-se um resultado favorável, pois o campo reproduziu os valores encontrados para o modelo atmosférico. Os erros padrão das médias também foi pequeno o que indica um procedimento de simulação estável. Para os valores de máximo, o método encontrou valores maiores do que os do WRF, porém isso era esperado, pois avalia a capacidade de prever a variabilidade local.

A correlação espacial também foi avaliada, com ela é possível saber qual o tipo de chuva que o modelo prevê e verificar se o campo desagregado reproduz a correlação do campo do modelo atmosférico.

Concluindo, o método de desagregação proposto por Skaugen cumpre com seus objetivos, com isso, pode-se dizer que a meta principal e todos os objetivos específicos propostos para este trabalho foram alcançados.

Como recomendações para estudos futuros, sugere-se que: i) o método deva ser testado com um modelo atmosférico de previsão de chuvas que consiga prever com maior exatidão os eventos; ii) como complementação, seja avaliada a precipitação desagregada pontualmente sobre as estações telemétricas e comparar com as do modelo atmosférico, traçando um diagrama de quantis para avaliar qual resulta mais significativo. Espera-se que os valores desagregados estejam em uma melhor concordância com os valores observados, uma vez que a chuva desagregada corresponde

a uma célula muito menor do que a do modelo atmosférico; iii) verificar a frequência de zeros e de valores baixos de precipitação tanto do modelo atmosférico quanto do campo desagregado. Espera-se uma frequência de zeros baixa e uma frequência de valores pequenos de precipitação alta em relação aos valores observados, isto porque tanto o modelo atmosférico como o modelo de desagregação fornece chuva média nas células respectivas. Acredita-se que os modelos atmosféricos têm uma tendência a ser relutantes em prever dias sem chuva nos campos intermitentes. Evidentemente se está comparando valores médios das células de ambos os modelos com chuvas pontuais nas estações de observação. O problema é basicamente de escala, que envolve complexas interações específicas da região em questão, variabilidade espacial e frequência da precipitação. O efeito de redução da variância devido à média na área é já conhecido (RODRIGUES-ITURBE & MEJIA, 1974).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A. **Simulação hidrológica com o uso de chuva estimada por satélite.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídrico e Ambiental – Setor de Tecnologia UFPR, p 65. Curitiba, 2006.

BECKER, C. O.; BRAUN, P. Disaggregation, aggregation and spatial scaling in hydrological modeling. **Journal of Hydrology** 217, 239-252, 1999

BREDA, A. **Avaliação de melhorias para um sistema de previsão hidrológica horária.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Setor de Tecnologia, UFPR, p 85. Curitiba, 2008.

CALVETTI, L; ARAUJO, N. Comunicação via correio eletrônico. 20/11/2007.

CHEN, D.; ACHBERGER, C.; RÄISÄNEN, J. HELLSTRÖM, C. Using statistical downscaling to quantify the GCM-related uncertainty in regional climate change scenarios: A case study of Swedish precipitation. **Advances in Atmospheric Sciences** Vol 23 n°1 54-60, 2006.

COELHO, C. A. S. **Forecast calibration and combination: Bayesian assimilation of seasonal climate predictions.** Ph D Thesis. Department of Meteorology. University of Reading 178pp., 2005

COELHO, C. A. S.; STEPHENSON, D. B.; DOBLAS-REYES, F. J.; BALMASEDA, M.; GUETTER, A. K. Assimilação Bayesiana de previsões climáticas de chuva para a escala da bacia. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2005

DNMI (The Norwegian Meteorological Institute) **HIRLAM documentation manual, HIRLAM project.** The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway. 1996

GALVÃO, C. O.; TRIGO, R. M. Downscaling da precipitação e temperatura de modelos de circulação global para a escala da bacia hidrográfica. **IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa**, Coimbra, Portugal, 1999

GAO, X.; SOROOSHIAN, S. A stochastic precipitation disaggregation scheme for GCM application., **Journal of Climate** 7(2), p. 238-247, 1994.

HAAS, J.; MINE, M. R. M; FERNANDES, C. V. S. Feasibility of meteorological rainfall forecast to improve hydroplant reservoir inflows forecasts. In: 2003 WORLD WATER CONGRESS, **Anais do XI IWRA International Water Resources Association**, Madrid, 2003. v.1 p. 1-11

HAINING, R. **Spatial data analysis. Theory and practice.** 432pp, Cambridge University Press, 2003.

HAYLOCK, M. R.; CAWLEY, G. C.; HARPHAM, C.; WILBEY, R. L.; GOODESS C. M. Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. Published online in **Wiley Interscience** (www.interscience.wiley.com) 2006.

KAVISKI, E. **Métodos de regionalização de eventos e parâmetros hidrológicos.** 296 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1992

KAVISKI, E. **Solução de problemas de fenômenos de transporte pelo método de Monte Carlo.** Tese. (Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Setor de Tecnologia – UFPR, p 216, Curitiba, 2006.

LAPRISE, R. The Euler Equations of motion with hydrostatic pressure as independent variable, **Mon. Wea. Rev.**, 120, 197–207, 1992.

MAURER, E. P.; HIDALGO, H. G. Utility of daily vs. monthly large-scale climate data: an intercomparison of two statistical downscaling methods. **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.** 4, 3413 – 3440. 2007

MINE, M. R. M. **Método determinístico para minimizar o conflito entre gerar energia e controlar cheias.** Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS.1998

OLIVEIRA, A.C. **Implementação do modelo atmosférico WRF acoplado com o modelo hidrológico TOPMODEL para a bacia de União da Vitória.,** 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006

ONOF, C.; MACKAY, N. G.; OH, L.; WHEATHER, H. S.. An improved rainfall disaggregation technique for GCMs. **J. Geophys. Res.** 103(D16), p. 19577-19586, 1998

OTT, R. L. **An Introduction to Statistical methods and data analysis.** 4^a Ed. Deixbury Press, 1992.

RODRIGUES-ITURBE, I.; MEJIA, J. M. On the transformation of point rainfall to areal rainfall. **Water Resources Research** 10(4), p. 729-735, 1974.

SKAMAROCK, W.C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; WANG, W.; POWERS, J. .G. A description of the advanced research WRF version 2. NCAR technical note. Junho 2005.

SKAUGEN, T. Classification of rainfall into small and large-scale events by statistical pattern recognition. **Journal of Hydrology**. 200, p. 40-57, 1997.

SKAUGEN, T. A simple disaggregation scheme for precipitation. **Geophys. Res. Abstracts**, v 3. 2001.

SKAUGEN, T. A spatial disaggregation procedure for precipitation. **Hydrological Sciences Journal**, 47(6), December 2002, p. 943-957.

SKAUGEN, T.; CREUTIN, J.D.; GOTTSCHALK, L.T. Reconstruction and frequency estimates of extreme daily precipitation. **J. Geophys. Res.** 101(D21), p. 26287-26295, 1996.

STEPHENSON, D. B.; COELHO, C. A. S.; DOBLAS-REYES, F. J.; BALMASEDA, B. Forecast Assimilation: A unified framework for the combination of multi-model weather and climate predictions. **Tellus** 57 A, 253-264, 2005.

UVO, C. B.; OLSSON, J.; MORITA, O.; JINNO, K.; KAWAMURA, A.; NISHIYAMA, K.; KOREEDA, N.; NAKASHIMA, T. Statistical atmospheric downscaling for rainfall estimation in Kyushu Island, Japan. **Hydrology Earth System Sciences** 5(2) 259-271 2001.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

APÊNDICE A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA

PERÍODO DE SETEMBRO DE 2005 A OUTUBRO DE 2006

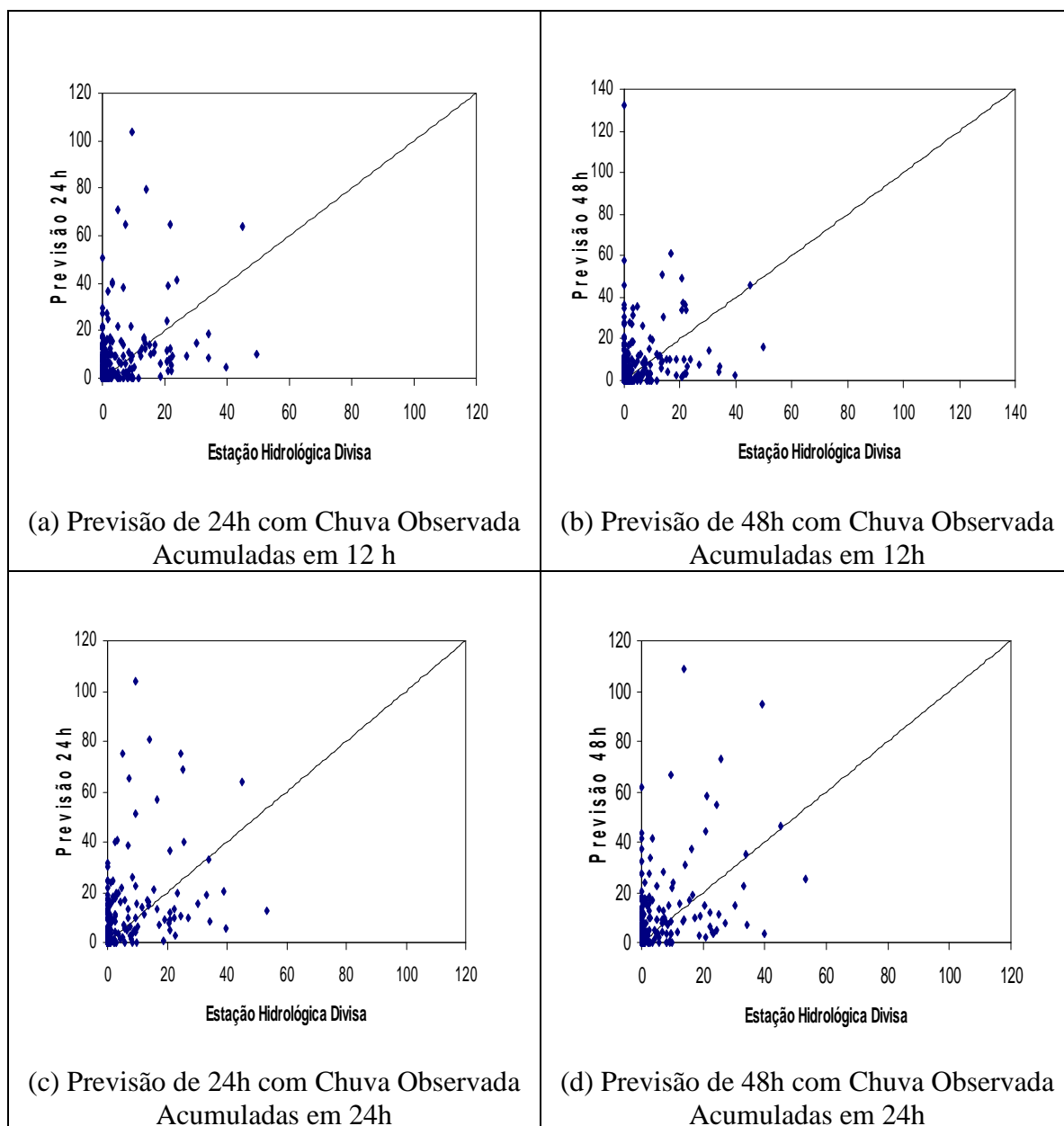


FIGURA 1A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA DIVISA

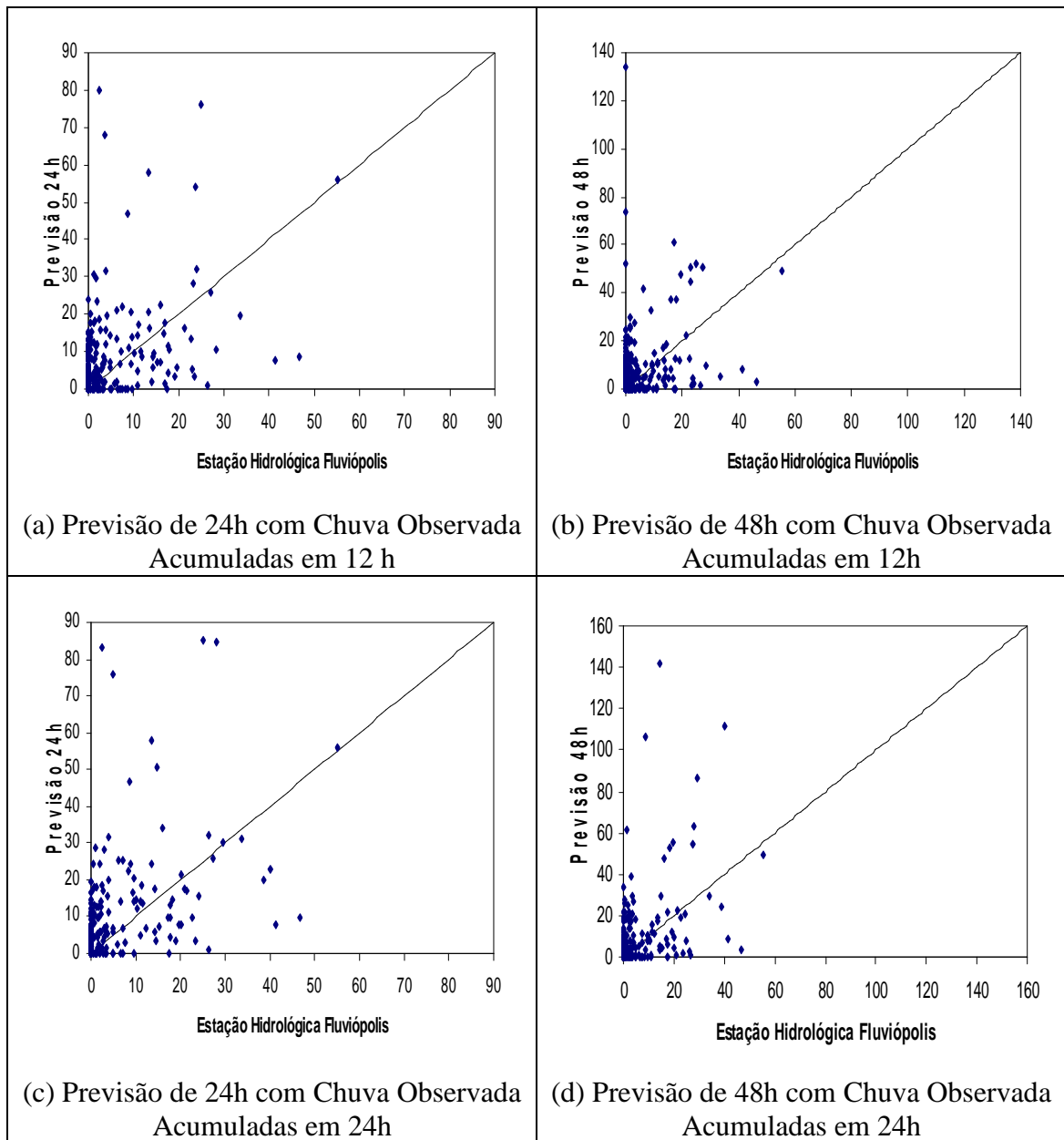


FIGURA 2A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA FLUVIÓPOLIS

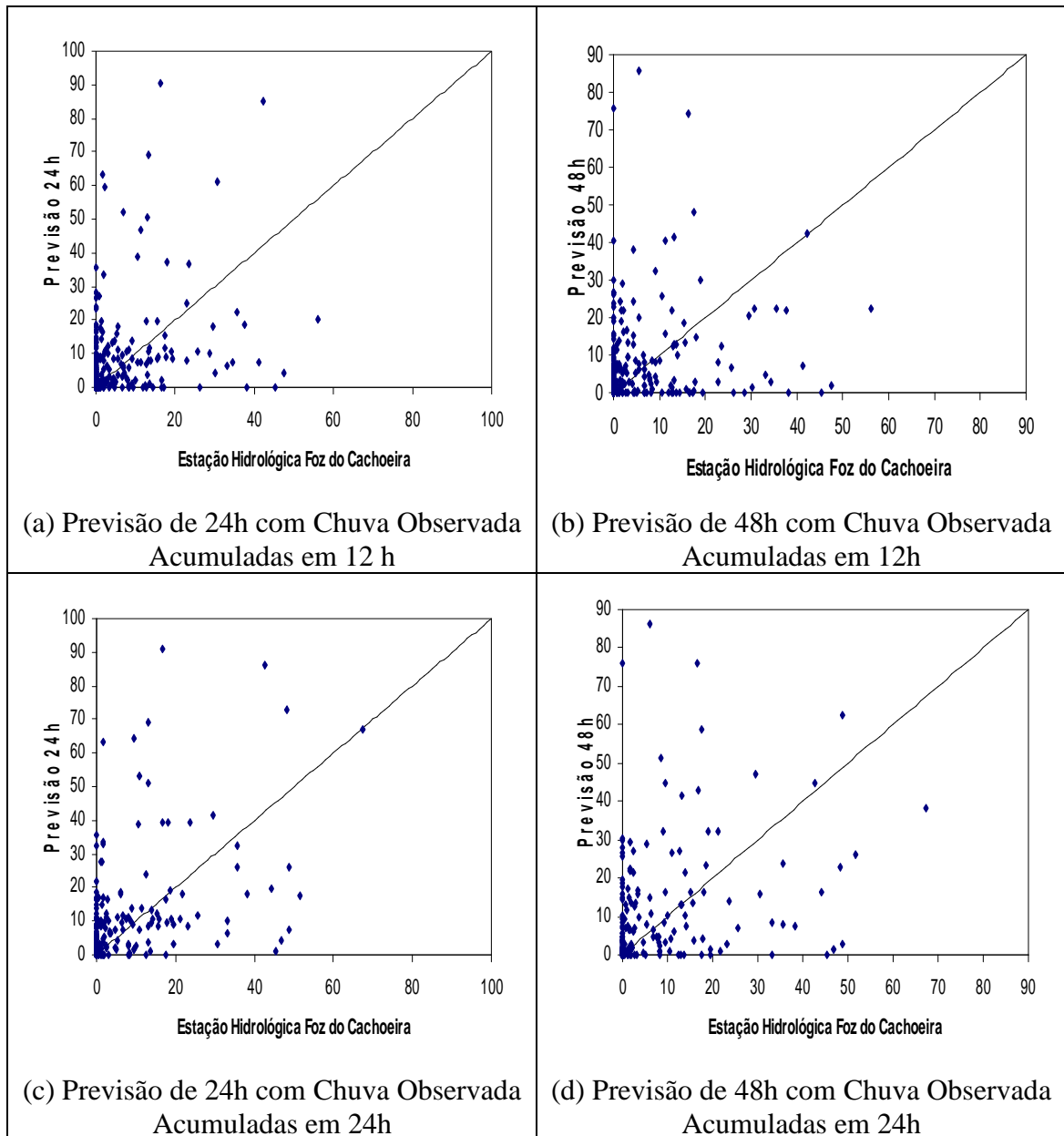


FIGURA 3A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA FOZ DO CACHOEIRA

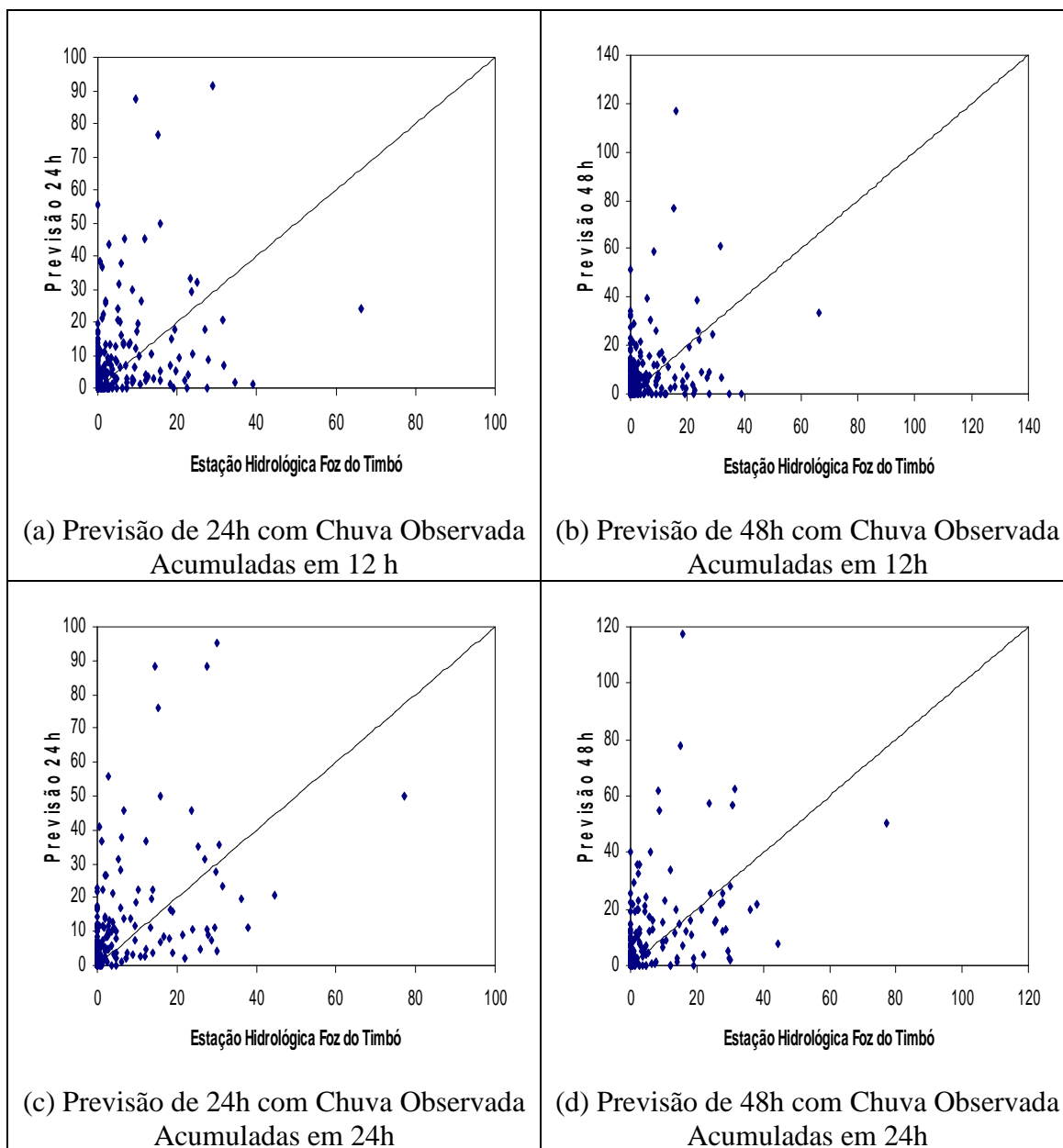


FIGURA 4A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA FOZ DO TIMBÓ

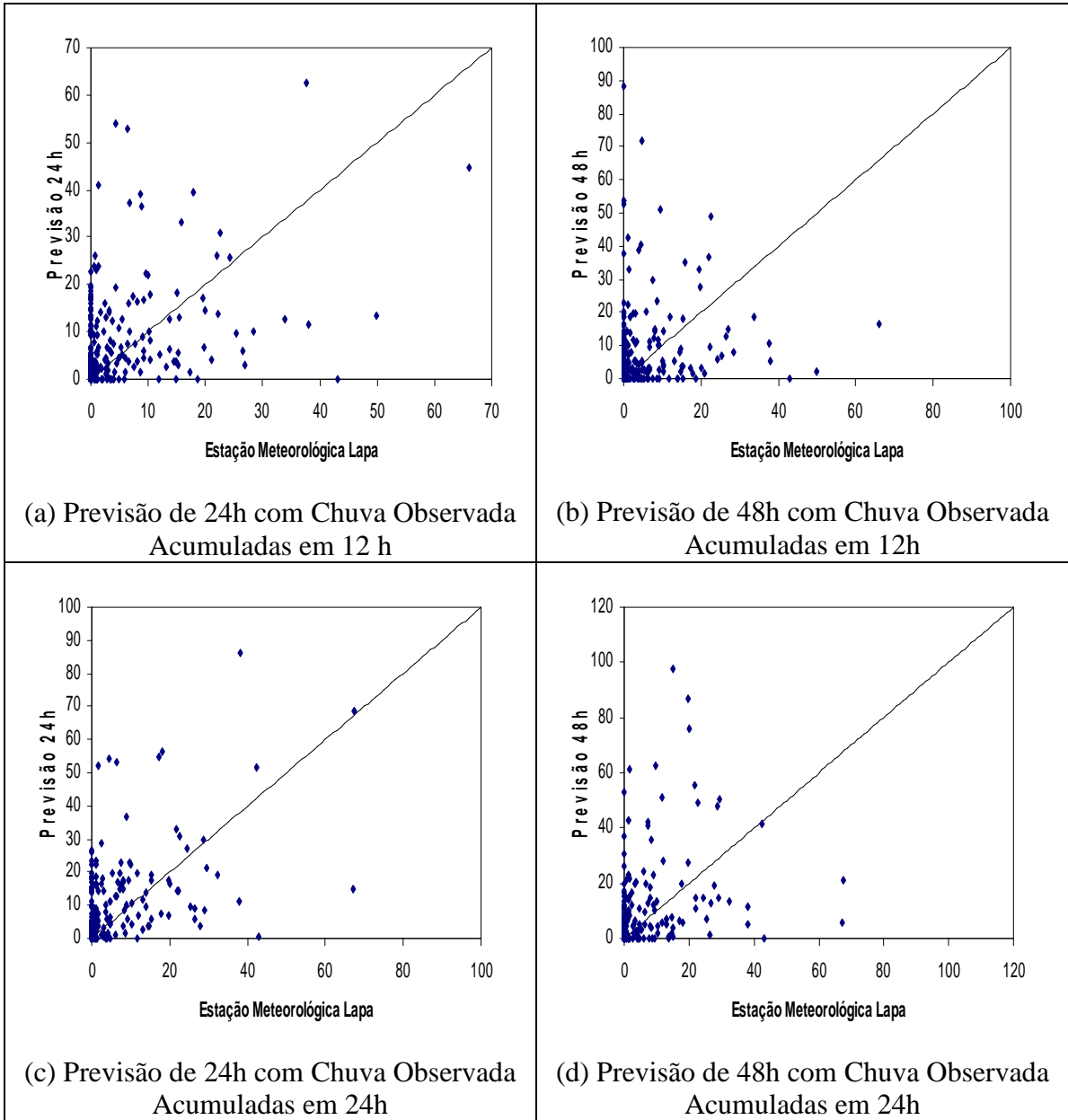


FIGURA 5A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA LAPA

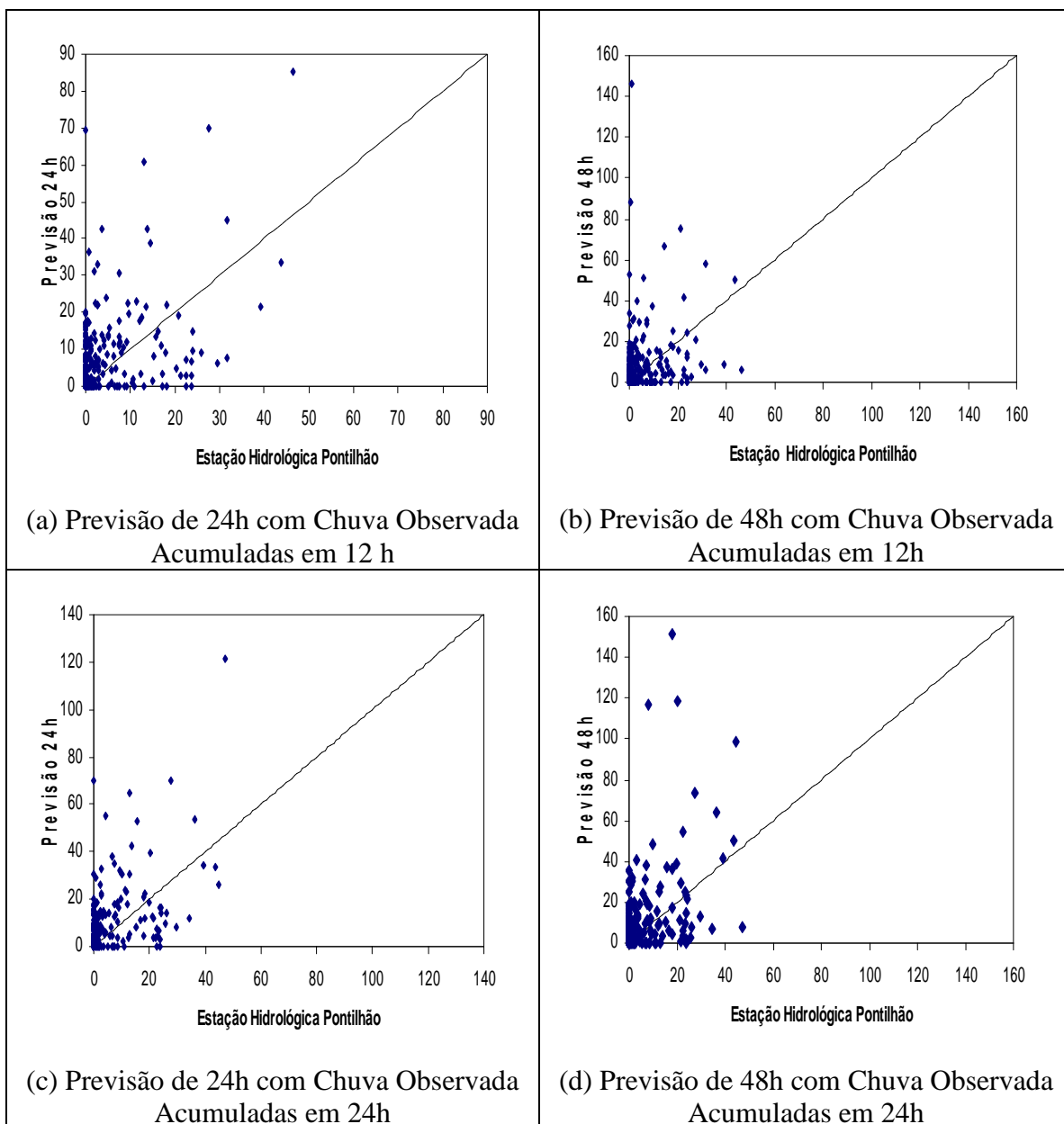


FIGURA 6A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA PONTILHÃO

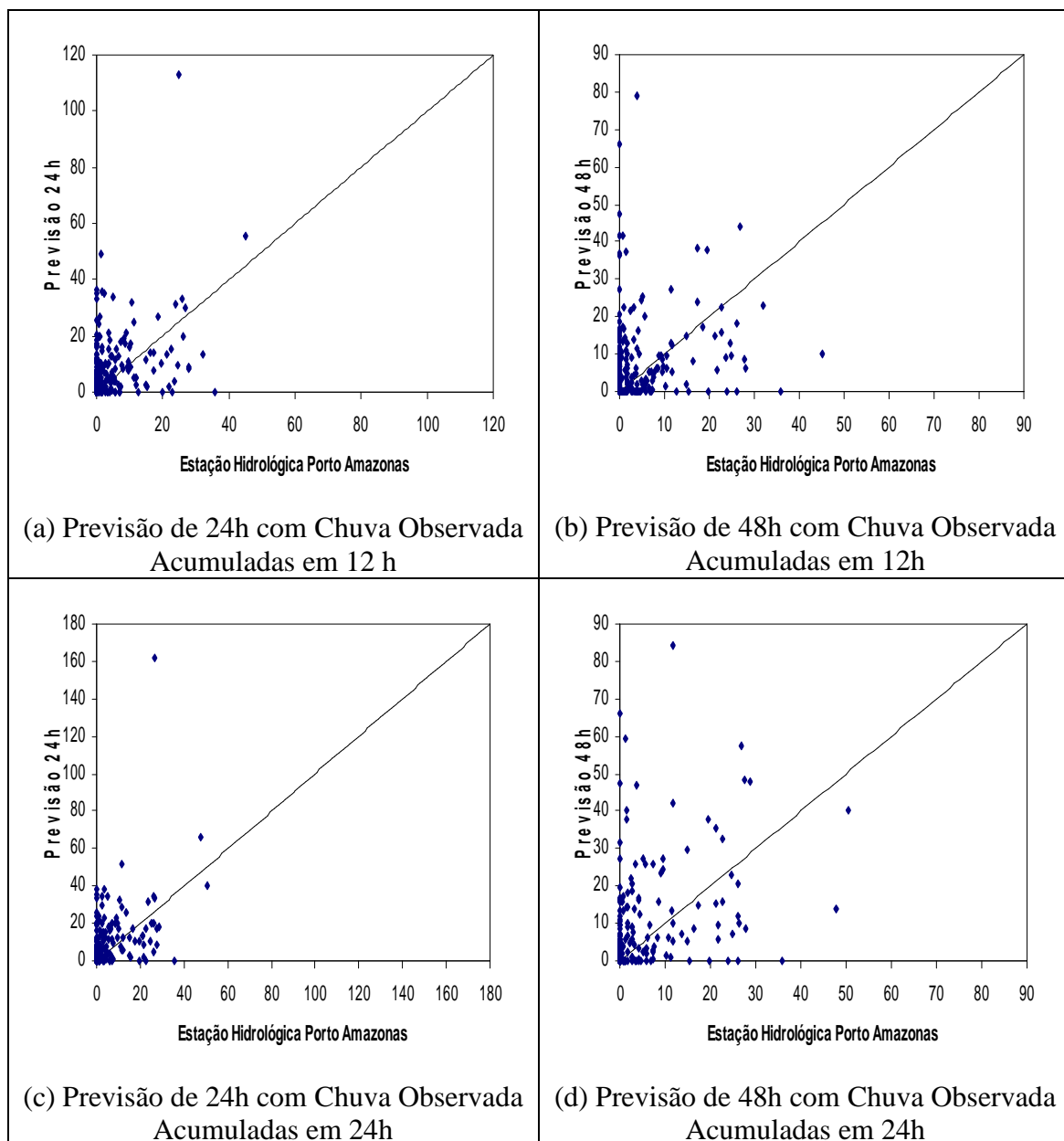


FIGURA 7A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA PORTO AMAZONAS

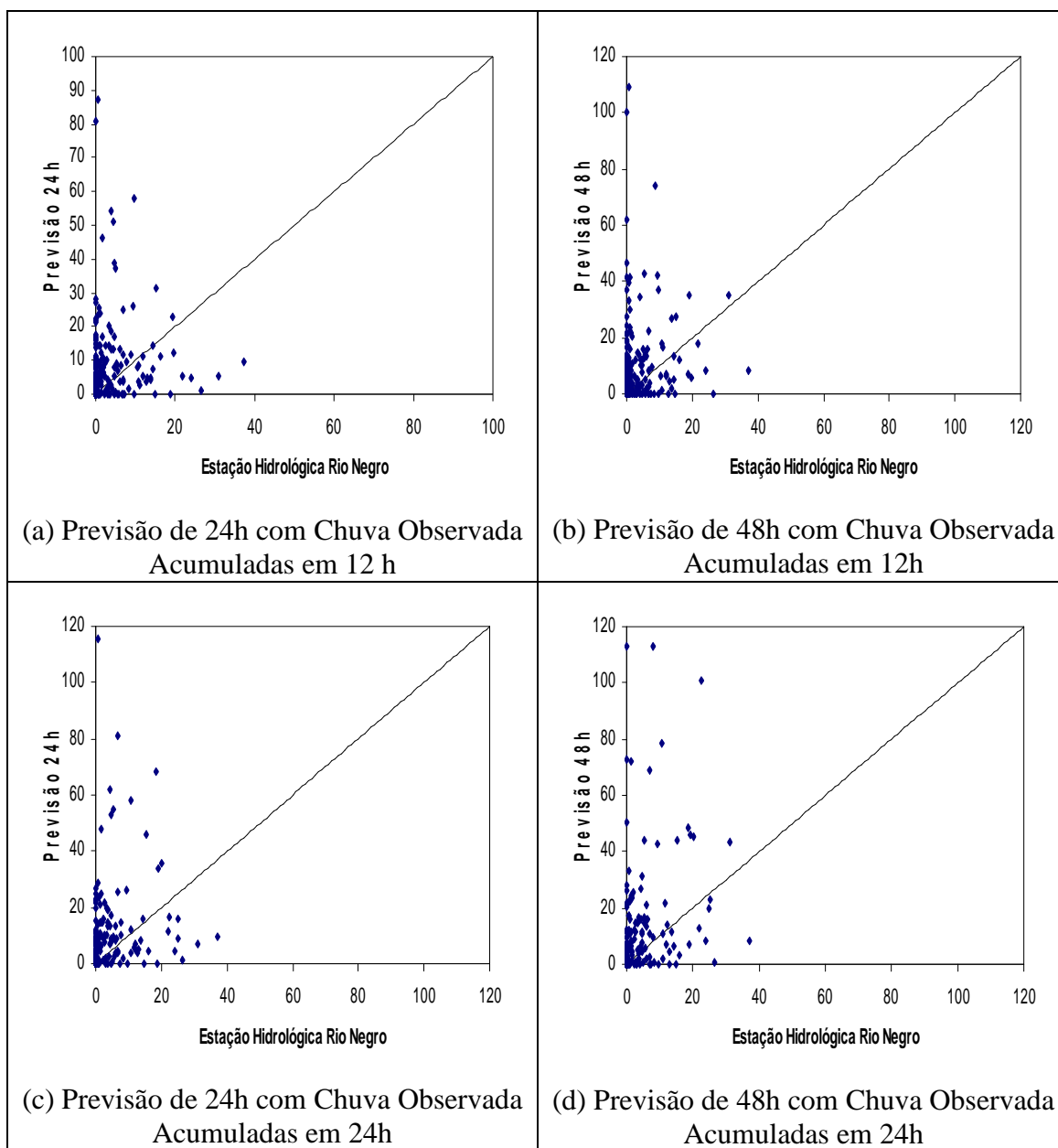


FIGURA 8A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA RIO NEGRO

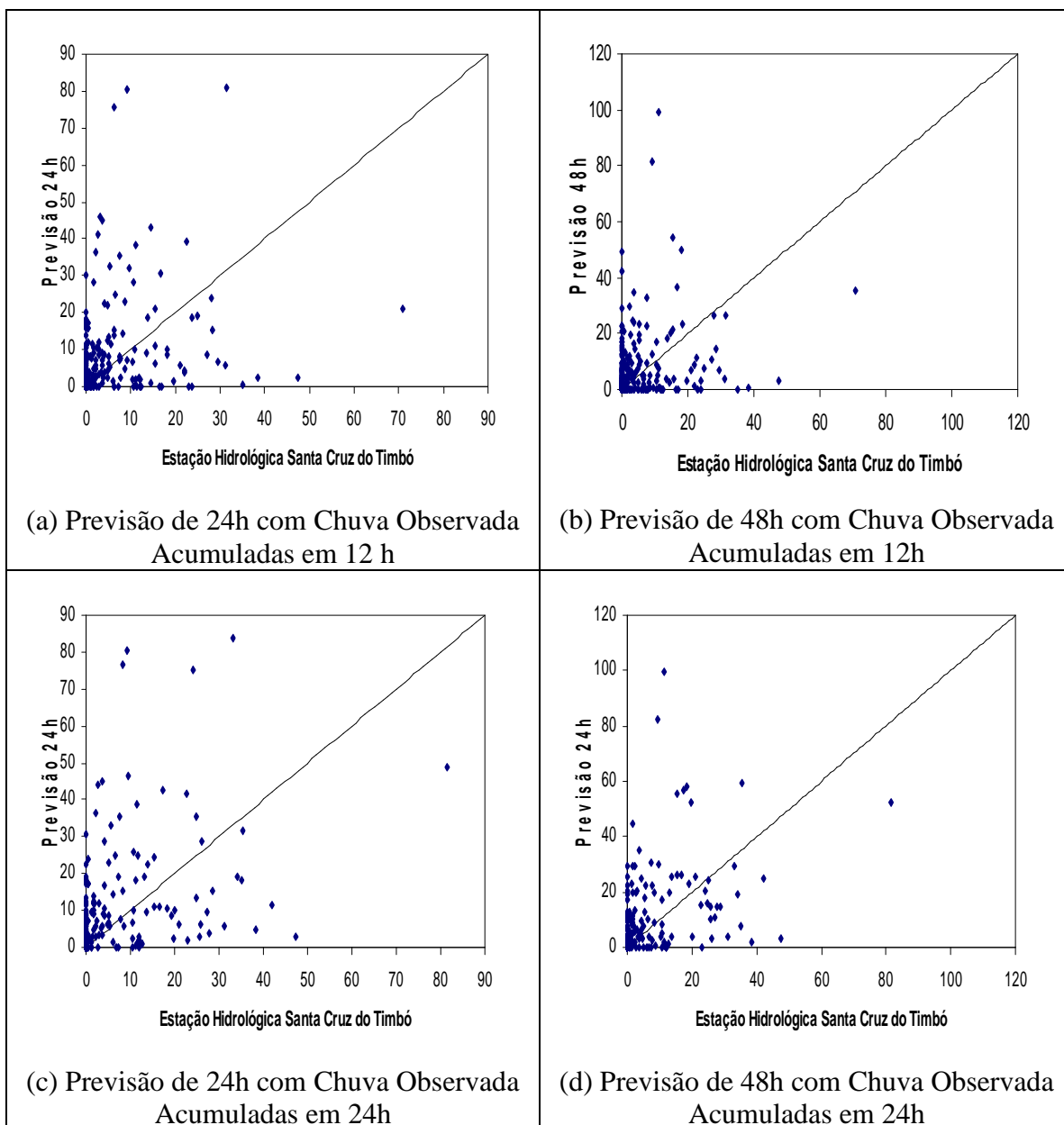


FIGURA 9A– COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA SANTA CRUZ DO TIMBÓ

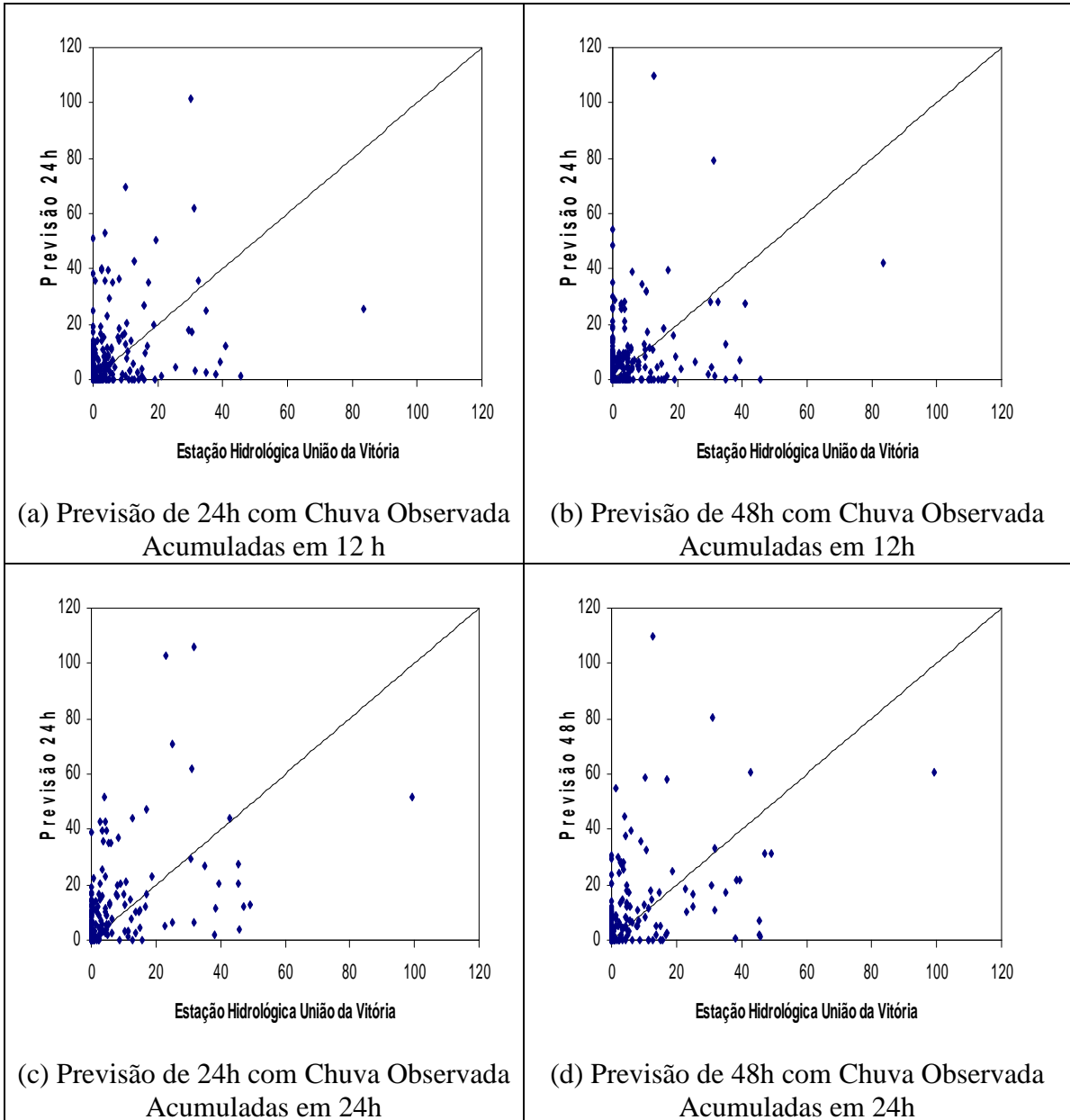


FIGURA 10A – COMPARAÇÃO ENTRE PREVISÃO E CHUVA OBSERVADA – ESTAÇÃO HIDROLÓGICA UNIÃO DA VITÓRIA

APÊNDICE B – EXEMPLO E CÓDIGOS FONTES UTILIZADOS

1 B – PRIMEIRA ETAPA: INTERPOLAÇÃO

Como exemplo, é utilizado um evento hipotético, com uma matriz de entrada (3x3), que tem um número menor de elementos que as matrizes estudadas, para que a visualização da solução seja melhor pelas dimensões da matriz de saída, que neste caso é de (21x21). Como é um evento hipotético, tomou-se cuidado na escolha dos valores da matriz para que dentro dela ocorressem tanto o caso de célula completamente coberta de chuva e célula com intermitência.

Na primeira etapa, calculada a partir do código fonte exposto abaixo, tem-se como saída, dois arquivos, com os mesmos valores diferindo na forma de formatação. O primeiro (saida.txt) o arquivo está na forma de uma matriz, e o segundo arquivo de saída (saida1.txt) a formatação está em forma de um vetor, este segundo é usado como entrada para a segunda etapa.

A matriz de saída aqui representada é resultante do primeiro arquivo, a outra saída pode ser observada na segunda etapa do processo.

Matriz de Entrada:

3,5	4,8	5,4
10,2	25,3	18,3
0,8	4,9	8,3

Código Fonte:

```

IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
PARAMETER (N=11,DX=0.75)
DIMENSION U(1:21,1:21)
DIMENSION D(1:N,1:N,1:N,1:N),DENO(1:N,1:N),SOMA(1:N,1:N)

OPEN(1,FILE='exemplo.txt')
OPEN(2,FILE='saida.txt')
OPEN(3,FILE='saida1.txt')

READ(1,*)((U(I*10-9,J*10-9),I=1,10),J=1,16)

DO 10 J = 1,N
DO 15 I = 1,N
DO 20 L = 1,N,N-1
DO 25 K = 1,N,N-1
D(I,J,L,K) = ((K-I)*DX)**2+((L-J)*DX)**2.
25 CONTINUE

```



```

20 CONTINUE
15 CONTINUE
10 CONTINUE

DO 2 MK = 1,2
DO 5 ML = 1,2

DO 30 J = 1,N
DO 35 I = 1,N
DO 40 L = 1,N,N-1
DO 45 K = 1,N,N-1
IF((I.EQ.1.OR.I.EQ.N).AND.(J.EQ.1.OR.J.EQ.N)) THEN
DENO(I,J) = 0.
SOMA(I,J) = 0.
ELSE
DENO(I,J) = DENO(I,J)+1./D(I,J,L,K)
SOMA(I,J) = SOMA(I,J)+U(K+10*(MK-1),L+10*(ML-1))/D(I,J,L,K)
END IF
45 CONTINUE
40 CONTINUE
35 CONTINUE
30 CONTINUE

DO 50 J = 1,N
DO 55 I = 1,N
IF((I.EQ.1.OR.I.EQ.N).AND.(J.EQ.1.OR.J.EQ.N)) THEN
U(I+10*(MK-1),J+10*(ML-1)) = U(I+10*(MK-1),J+10*(ML-1))
ELSE
U(I+10*(MK-1),J+10*(ML-1)) = SOMA(I,J)/DENO(I,J)
END IF
WRITE(3,97) U(I+10*(MK-1),J+10*(ML-1))

55 CONTINUE
50 CONTINUE

DO 80 J = 1,N
DO 85 I = 1,N
DENO(I,J) = 0.
SOMA(I,J) = 0.
85 CONTINUE
80 CONTINUE

5 CONTINUE
2 CONTINUE

DO 60 J = 1,21
WRITE(2,98)(U(I,J),I=1,21)
60 CONTINUE

97 FORMAT(F8.3)
98 FORMAT(91F8.3)

CLOSE(1)
CLOSE(2)
CLOSE(3)

STOP

END

```

Matriz de Saída da 1ª Etapa:

3,500	3,697	4,274	5,090	5,892	6,417	6,497	6,142	5,545	5,011	4,800	5,077	5,827	6,774	7,554	7,883	7,667	7,026	6,239	5,624	5,400
3,710	3,938	4,565	5,432	6,275	6,829	6,924	6,553	5,904	5,304	5,125	5,442	6,268	7,276	8,075	8,389	8,140	7,449	6,595	5,914	5,656
4,389	4,648	5,275	6,113	6,928	7,492	7,649	7,370	6,801	6,241	6,252	6,575	7,363	8,278	8,967	9,204	8,941	8,286	7,473	6,804	6,527
5,501	5,778	6,349	7,095	7,846	8,431	8,717	8,652	8,322	7,949	8,290	8,550	9,148	9,803	10,255	10,357	10,091	9,541	8,875	8,314	8,055
6,866	7,137	7,621	8,259	8,962	9,617	10,114	10,384	10,444	10,404	11,142	11,253	11,518	11,778	11,896	11,813	11,535	11,124	10,672	10,295	10,101
8,217	8,465	8,865	9,431	10,146	10,950	11,754	12,469	13,035	13,435	14,517	14,420	14,264	14,043	13,764	13,450	13,136	12,857	12,636	12,480	12,383
9,300	9,517	9,864	10,423	11,235	12,283	13,489	14,734	15,872	16,742	17,996	17,695	17,105	16,378	15,668	15,087	14,700	14,520	14,505	14,557	14,561
9,966	10,144	10,476	11,095	12,090	13,469	15,147	16,958	18,653	19,929	21,120	20,683	19,733	18,544	17,411	16,543	16,043	15,911	16,044	16,253	16,335
10,227	10,359	10,701	11,428	12,659	14,408	16,564	18,889	21,023	22,551	23,491	23,014	21,849	20,323	18,836	17,696	17,056	16,913	17,115	17,406	17,530
10,236	10,330	10,697	11,540	12,997	15,071	17,604	20,275	22,635	24,228	24,879	24,436	23,223	21,548	19,850	18,511	17,735	17,528	17,714	18,007	18,140
10,200	10,262	10,602	11,464	13,018	15,267	18,002	20,824	23,233	24,790	25,300	24,927	23,843	22,283	20,631	19,258	18,383	18,030	18,053	18,215	18,300
10,204	10,269	10,564	11,330	12,739	14,815	17,394	20,133	22,560	24,199	24,896	24,471	23,311	21,711	20,089	18,796	18,019	17,758	17,858	18,073	18,174
10,079	10,185	10,461	11,123	12,323	14,088	16,300	18,699	20,902	22,478	23,557	23,103	21,993	20,544	19,136	18,052	17,426	17,245	17,374	17,593	17,688
9,597	9,761	10,053	10,641	11,639	13,059	14,809	16,700	18,467	19,794	21,261	20,853	19,958	18,847	17,797	16,999	16,538	16,403	16,498	16,662	16,727
8,601	8,828	9,182	9,764	10,631	11,761	13,064	14,403	15,621	16,548	18,215	17,949	17,418	16,772	16,156	15,670	15,361	15,230	15,233	15,288	15,300
7,100	7,391	7,859	8,522	9,359	10,300	11,241	12,078	12,741	13,209	14,792	14,736	14,645	14,518	14,356	14,175	13,994	13,832	13,705	13,614	13,558
5,286	5,630	6,249	7,068	7,976	8,839	9,530	9,964	10,149	10,195	11,428	11,584	11,928	12,304	12,578	12,680	12,605	12,394	12,121	11,878	11,756
3,472	3,840	4,605	5,616	6,663	7,541	8,090	8,243	8,074	7,805	8,540	8,846	9,537	10,340	10,996	11,351	11,369	11,110	10,707	10,339	10,172
1,993	2,346	3,204	4,374	5,569	6,512	7,008	7,004	6,633	6,191	6,436	6,802	7,694	8,790	9,736	10,298	10,403	10,122	9,640	9,202	9,019
1,084	1,395	2,264	3,501	4,784	5,785	6,283	6,236	5,812	5,336	5,249	5,601	6,537	7,751	8,854	9,554	9,738	9,481	8,995	8,555	8,381
0,800	1,072	1,880	3,068	4,330	5,333	5,850	5,843	5,484	5,076	4,900	5,208	6,071	7,237	8,345	9,092	9,340	9,150	8,733	8,350	8,200

2B – SEGUNDA ETAPA: SIMULAÇÃO

Esta etapa está separada em duas planilhas, na primeira estão calculadas as estatísticas necessárias da matriz de entrada e de cada célula para fazer a simulação na segunda planilha.

2B.1 – PLANILHA 1

Esta planilha está separada em campos de preenchimento e de cálculo direto (Figura 1B).

Campo 1 - Matriz de Entrada					
3,5	4,8	5,4	Estatística da malha:		
10,2	25,3	18,3	Média Geral	9,06	
0,8	4,9	8,3	Variância	62,37	
			Desvio Padrão	7,90	
Campo 2 - Média			Campo 3 - Variância		
10,95	13,45		99,937	101,190	
10,30	14,20		114,807	87,107	
Campo 4 - Variância/media²			Campo 5 - Lambda		
0,833	0,559		0,100	0,099	
1,082	0,432		0,093	0,107	
Campo 6 - Campo 4 > 1.0			Campo 7 - b		
0	0		0,953	3,391	
VERDADEIRO	0		-0,415	4,867	
Campo 8 - p			Campo 9 - p.I		
1,091	1,283		132	155	
0,961	1,397		116	169	

FIGURA 1B – PLANILHA 1 – 2ª ETAPA

Campo 1 – Matriz de entrada: São as células onde deverá ser colocada a matriz de entrada, a mesma usada na etapa 1 para a interpolação, para o cálculo das estatísticas nos demais campos. Ao lado da matriz de entrada estão as células de estatística geral da malha, onde são calculados a média geral, a variância e o desvio padrão.

Campo 2 – Média: Nesse campo é calculada a média de cada célula (passo 2 do esquema de desagregação).

Campo 3 – Variância: Aqui é calculada a variância de cada célula (passo 2 do esquema de desagregação).

Campo 4 – Variância/média²: É calculada a relação $\frac{\text{var}(z)}{E(z)^2}$, onde var (z) variância dos quatro valores nodais das células e E(z) é a média desses quatro valores, para cada célula da malha como requisito para a avaliação se a célula é coberta completamente ou intermitentemente pela chuva.

Campo 5 – Lambda: Cálculo de λ , a partir da relação : $\lambda = 1/E(z)$, para usar na simulação, na equação da distribuição exponencial.

Campo 6 – Campo 4 >1,0: Para facilitar a identificação de células com intermitência encontradas pela relação do campo 4, este campo retorna “VERDADEIRO” quando a célula correspondente do campo 4 for maior que a unidade, identificando assim células com intermitência e “0” quando o valor correspondente for menor que 1,0, ou seja, células com cobertura completa (passo 3 do esquema de desagregação).

Campo 7 – b: Calcula a intensidade mínima b, para usar na equação da distribuição exponencial truncada, quando a célula for totalmente coberta.

Campo 8 – p: Quando a célula tem cobertura intermitente, faz-se necessário o cálculo de p, pela equação (30).

Campo 9 – p.I: No caso de cobertura intermitente, somente pxI são simulados, onde I é a quantidade de pontos simulados dentro de cada célula, no caso, 121.

2B.2 – PLANILHA 2

A planilha 2 está subdividida em colunas, cada qual exercendo uma função dentro do conjunto da simulação, como demonstra a figura 2B.

A	B	C	D	E	F	G	H	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Média	
3,5	1	0,9833	0,2	1,1	0,8	232	1	0,4	1,02	0,61	0,42	0,58	0,45	1,06	0,76	1,02	0,95	0,72	
3,7	2	0,7764	2,5	3,5	1,1	233	2	0,5	1,20	0,96	0,65	0,72	0,62	1,16	0,84	1,03	1,06	0,87	
4,3	3	0,0920	23,8	24,8	1,1	221	3	1,0	1,32	1,10	0,96	1,04	0,91	1,29	1,09	1,19	1,21	1,11	
5,1	4	0,0904	24,0	25,0	1,4	222	4	1,5	1,90	1,73	1,76	2,03	1,73	1,88	1,89	2,27	1,71	1,84	
5,9	5	0,3862	9,5	10,5	1,9	234	5	2,8	3,41	3,01	3,24	3,47	3,43	3,42	3,56	3,48	3,47	3,32	
6,4	6	0,6183	4,8	5,8	2,0	210	6	3,7	3,87	3,64	3,96	4,25	4,30	3,97	4,36	4,07	4,07	4,02	
6,5	7	0,8974	1,1	2,0	2,3	223	7	3,8	4,00	3,74	4,05	4,31	4,40	4,10	4,37	4,10	4,13	4,10	
6,1	8	0,1929	16,5	17,4	2,3	211	8	3,2	3,55	3,23	3,54	3,64	3,78	3,73	3,88	3,59	3,67	3,58	
5,5	9	0,3110	11,7	12,6	3,1	235	9	2,2	2,90	2,32	2,45	2,87	2,22	2,74	2,71	2,98	2,59	2,60	
5,0	10	0,0630	27,6	28,6	3,2	212	10	1,4	1,65	1,51	1,60	1,82	1,53	1,73	1,61	2,19	1,64	1,67	
.
.
25,3	121	0,4490	8,0	9,0	7,8	466	121	43,1	44,13	52,53	44,55	64,09	50,90	47,23	58,89	55,15	51,14	51,17	
10,2	122	0,3872	10,2	10,2	7,8	44	122	8,2	7,85	8,12	8,32	8,38	7,48	8,24	7,85	8,03	8,05	8,05	
10,3	123	0,9061	1,1	1,1	7,8	208	123	8,3	8,03	8,31	8,64	8,65	7,67	8,59	8,02	8,29	8,18	8,27	
10,6	124	0,8797	1,4	1,4	7,8	38	124	9,2	9,06	8,91	9,85	9,57	8,51	9,80	8,90	9,69	8,85	9,24	
11,5	125	0,2101	16,7	16,7	7,9	179	125	10,3	9,95	9,56	10,66	10,55	9,35	10,64	9,94	10,79	9,85	10,16	
13,0	126	0,7179	3,6	3,6	7,9	248	126	12,2	11,25	11,43	12,70	12,06	11,06	11,90	11,69	12,51	11,18	11,80	
15,3	127	0,0785	27,3	27,3	7,9	43	127	15,2	14,29	14,14	15,58	15,33	13,44	14,91	14,21	14,78	13,55	14,54	
18,0	128	0,4719	8,0	8,0	8,0	192	128	20,7	19,93	17,42	20,25	20,06	18,49	20,20	18,74	19,49	19,28	19,46	
20,8	129	0,0769	27,5	27,5	8,1	286	129	26,2	26,77	24,96	27,95	29,69	25,83	27,27	25,36	25,52	25,13	26,47	
23,2	130	0,8793	1,4	1,4	8,1	207	130	31,0	31,17	34,47	34,05	37,15	32,04	33,40	30,94	32,98	30,35	32,76	
24,8	131	0,9354	0,7	0,7	8,1	258	131	35,1	37,40	41,32	39,05	43,69	37,58	37,46	37,94	43,08	35,97	38,86	
25,3	132	0,6229	5,1	5,1	8,1	205	132	53,7	49,35	57,39	46,73	68,32	51,70	50,13	61,56	60,10	51,82	55,08	
10,2	133	0,4191	9,3	9,3	8,1	260	133	8,2	7,85	8,13	8,37	8,45	7,49	8,36	7,90	8,04	8,05	8,09	
10,3	134	0,2560	14,6	14,6	8,2	484	134	8,4	8,10	8,32	8,67	8,73	7,70	8,74	8,03	8,64	8,24	8,36	
10,6	135	0,3411	11,5	11,5	8,2	56	135	9,2	9,05	8,91	9,84	9,56	8,49	9,75	8,87	9,63	8,82	9,21	
11,3	136	0,5512	6,4	6,4	8,2	206	136	9,9	9,73	9,45	10,62	10,34	9,20	10,54	9,74	10,53	9,71	9,98	
12,7	137	0,8173	2,2	2,2	8,3	48	137	12,1	11,08	11,14	12,55	11,81	10,97	11,74	11,45	12,26	10,80	11,59	
14,8	138	0,3650	10,8	10,8	8,3	268	138	14,5	13,86	13,85	15,25	14,57	13,16	14,58	13,99	14,63	13,17	14,15	
17,4	139	0,1314	21,7	21,7	8,3	272	139	18,7	17,21	16,51	18,07	18,04	16,42	17,82	17,10	17,17	16,83	17,39	
20,1	140	0,7655	2,9	2,9	8,3	276	140	23,7	24,83	23,08	25,63	26,46	23,45	25,09	23,75	23,87	24,43	24,42	
22,6	141	0,4623	8,3	8,3	8,3	285	141	28,9	30,18	30,09	31,91	35,93	29,47	32,24	29,20	30,37	28,35	30,66	
24,2	142	0,5283	6,8	6,8	8,3	42	142	33,1	34,64	39,50	36,17	39,19	34,65	35,10	36,89	37,58	33,22	36,01	
24,8	143	0,1506	20,3	20,3	8,3	478	143	34,5	36,56	41,27	38,95	43,35	36,87	36,76	37,87	41,17	35,09	38,24	
10,1	144	0,2610	14,4	14,4	8,4	483	144	7,8	7,42	7,59	7,98	7,89	7,16	7,89	7,17	7,64	7,63	7,61	
10,2	145	0,8088	2,3	2,3	8,4	473	145	8,2	7,77	8,06	8,24	8,34	7,40	8,18	7,78	7,92	7,85	7,97	
10,5	146	0,3819	10,3	10,3	8,4	259	146	9,1	9,03	8,88	9,65	9,48	8,46	9,61	8,77	9,46	8,76	9,12	
.
.
.
3,1	235	0,7579	3,0	3,0	10,6	124	235	0,2	0,78	0,38	0,32	0,05	0,19	0,71	0,32	0,52	0,53	0,40	
4,3	236	0,5273	6,9	6,9	10,6	170	236	1,0	1,33	1,11	0,97	1,15	0,95	1,34	1,15	1,28	1,33	1,16	
5,3	237	0,6075	5,3	5,3	10,6	158	237	1,9	2,20	2,04	2,19	2,28	1,90	2,24	2,42	2,62	2,11	2,19	
5,9	238	0,5853	5,7	0,0	10,7	295	238	2,7	3,36	2,89	3,20	3,36	3,42	3,35	3,52	3,46	3,46	3,27	
5,8	239	0,5560	6,3	0,0	10,7	113	239	2,7	3,34	2,75	3,13	3,34	3,39	3,31	3,45	3,44	3,44	3,23	
5,5	240	0,3017	12,8	0,0	10,7	102	240	2,1	2,81	2,24	2,34	2,73	2,12	2,70	2,63	2,91	2,49	2,51	
5,1	241	0,7050	3,7	0,0	10,7	91	241	1,5	1,83	1,65	1,64	2,00	1,58	1,82	1,81	2,24	1,66	1,77	
4,9	242	0,6481	4,6	0,0	10,7	449	242	1,4	1,50	1,44	1,39	1,78	1,43	1,60	1,59	2,14	1,59	1,59	
4,8	243	0,7228	3,3	6,7	11,0	61	243	1,3	1,49	1,39	1,30	1,75	1,41	1,55	1,56	1,86	1,56	1,52	
.
.
.
8,2	484	0,7830	2,3	7,2	25,3	364	484	5,7	5,65	5,58	5,91	5,83	5,59	5,53	5,62	5,52	5,48	5,64	

NOTA: Espaços preenchidos por pontos indicam a continuidade da planilha.

FIGURA 2B – PLANILHA 2 - SIMULAÇÃO

Coluna A: Vetor de saída da 1ª Etapa, arquivo (saida.txt).

Coluna B: Classificação do vetor da coluna A quanto a sua posição dentro da malha.

Coluna C: Números aleatórios uniformemente distribuídos entre 0 e 1.

Coluna D: Cálculo de z , intensidade da chuva, em função da distribuição exponencial com dois parâmetros $f(z, \lambda)$, a partir da geração de variáveis aleatórias. Segundo a equação (KAVISKI, 2006):

$$z = -\frac{\ln(u)}{\lambda} \quad (1.B)$$

onde: λ é calculado na Planilha 1, Campo 5, e u é a variável aleatória da Coluna C da Planilha 2.

Coluna E: Como para a distribuição exponencial truncada tem-se outro parâmetro (b – intensidade mínima), ele é introduzido nesta coluna, somando a Coluna D com o valor correspondente calculado para célula da Planilha 1, Campo 7. Com atenção para o caso de células com cobertura intermitente (células em azul), que não têm adição deste parâmetro, também para estas mesmas células, deve-se observar o Campo 9 da Planilha 1, para verificação do número de valores a ser simulado e com isso completar os valores restantes com zero (passo 4 do esquema de desagregação). Assim, é obtida a série simulada (passo 5).

Colunas F e G: São os valores das Colunas A e B, respectivamente, sendo a Coluna F ordenada de maneira crescente e a Coluna G indicando sua posição original dentro da malha.

Coluna H: Indica a posição final das Colunas S1 a S10, na ordem crescente.

Colunas S1 a S10: São as séries simuladas na Coluna E, com números aleatórios diferentes, ordenadas crescentemente e em seguida reordenadas crescentemente com base na Coluna G para que ocupem sua real posição no campo desagregado (passo 6).

Coluna Média: É o vetor do campo desagregado final, obtido da média das 10 simulações realizadas.

Como última etapa, depois de realizadas as simulações, o vetor do campo desagregado é transformado em matriz:

Campo Desagregado:

0,7	0,9	1,1	1,8	3,3	4,0	4,1	3,6	2,6	1,7	1,5	1,8	3,2	4,4	5,1	5,4	5,2	4,7	3,7	2,8	2,3
0,9	1,1	1,3	2,4	3,9	4,5	4,6	4,2	3,3	2,1	1,7	2,4	3,9	4,9	5,6	5,9	5,6	5,0	4,3	3,4	2,9
1,3	1,4	2,1	3,5	4,6	5,1	5,2	4,9	4,4	3,7	3,5	4,3	4,9	5,7	6,6	6,8	6,5	5,8	5,0	4,5	4,2
2,6	3,0	4,0	4,8	5,4	6,0	6,2	6,2	5,9	5,5	5,3	6,1	6,7	7,4	8,2	8,8	7,7	7,1	6,5	5,8	5,5
4,6	4,8	5,1	5,7	6,5	7,2	7,7	8,8	9,1	8,9	9,0	9,9	10,2	10,6	10,8	10,6	10,2	9,8	9,4	8,5	7,7
5,7	6,0	6,4	7,0	7,9	9,6	10,5	11,2	11,8	12,2	12,6	13,3	13,1	13,0	12,8	12,3	12,0	11,7	11,4	11,2	11,1
6,8	7,0	7,5	9,0	9,9	11,0	12,4	13,8	15,1	16,3	17,2	18,3	17,0	15,6	14,9	14,3	13,8	13,6	13,4	13,6	13,7
7,6	7,8	9,2	9,6	10,9	12,3	14,3	16,6	22,2	23,9	25,5	26,2	23,6	22,1	17,6	15,9	15,2	15,1	15,3	15,4	15,5
8,1	8,8	9,5	10,1	11,5	13,3	16,0	23,1	27,4	30,4	32,2	31,2	28,8	24,9	22,7	18,5	16,9	16,5	17,1	17,4	17,9
8,2	8,6	9,4	10,3	11,7	14,2	18,1	24,6	30,9	36,5	39,9	37,0	32,5	28,0	23,8	21,9	18,6	17,8	18,6	19,6	20,4
8,0	8,4	9,4	10,4	12,2	14,8	20,7	27,1	33,3	41,1	51,2	46,1	35,2	29,5	25,2	23,3	20,5	18,9	19,1	20,8	21,3
8,1	8,4	9,2	10,0	11,6	14,2	17,4	24,4	30,7	36,0	38,2	37,4	33,7	28,4	24,3	22,5	19,7	18,7	19,0	20,2	20,6
7,6	8,0	9,1	9,7	11,0	13,0	15,4	22,4	27,0	30,0	31,9	31,6	29,3	25,7	23,3	19,9	17,8	17,3	17,3	18,0	18,2
7,2	7,4	7,6	9,3	10,4	11,9	14,1	16,2	21,8	23,7	25,1	26,8	24,1	23,0	18,8	16,7	15,8	15,7	15,7	16,1	16,3
6,1	6,3	6,7	7,4	9,3	10,5	12,0	13,2	14,9	16,0	16,7	19,1	17,7	16,4	15,4	15,0	14,7	14,4	14,5	14,6	14,7
4,8	5,0	5,4	6,0	6,9	8,6	9,9	10,8	11,6	12,1	12,4	13,9	13,7	13,5	13,2	13,1	12,9	12,8	12,7	12,6	12,5
2,1	2,9	3,8	4,7	5,5	6,3	7,1	7,5	7,9	8,0	8,3	10,3	10,8	11,0	11,3	11,5	11,4	11,2	10,9	10,7	10,5
0,6	1,0	1,3	2,8	4,4	5,1	5,6	5,7	5,5	5,3	5,3	6,4	7,1	8,7	9,6	10,0	10,1	9,7	9,5	8,6	7,9
0,1	0,3	0,5	1,2	2,7	4,1	4,7	4,7	4,3	3,6	3,4	4,5	5,2	6,3	7,3	8,5	8,9	7,8	7,2	6,8	6,6
0,0	0,0	0,2	0,8	1,4	3,0	3,9	3,7	3,1	2,2	1,9	2,7	4,2	5,3	6,4	7,1	7,3	7,0	6,6	6,1	5,9
0,0	0,0	0,0	0,4	1,2	2,2	3,3	3,2	2,5	1,8	1,6	2,0	3,5	4,8	5,9	6,7	6,9	6,7	6,2	5,9	5,6

3B- TERCEIRA ETAPA: MAPAS

Nesta etapa foram utilizados algoritmos produzidos no programa MATLAB, para a confecção dos mapas, o primeiro (Figura 3B, Código Fonte 1) é do campo produzido pelo modelo atmosférico WRF, e o segundo (Figura 4B, Código Fonte 2) é o campo desagregado, obtido da simulação realizada.

Os mapas gerados, para este exemplo, conservam a mesma distância entre as células que a dos eventos reproduzidos para a dissertação.

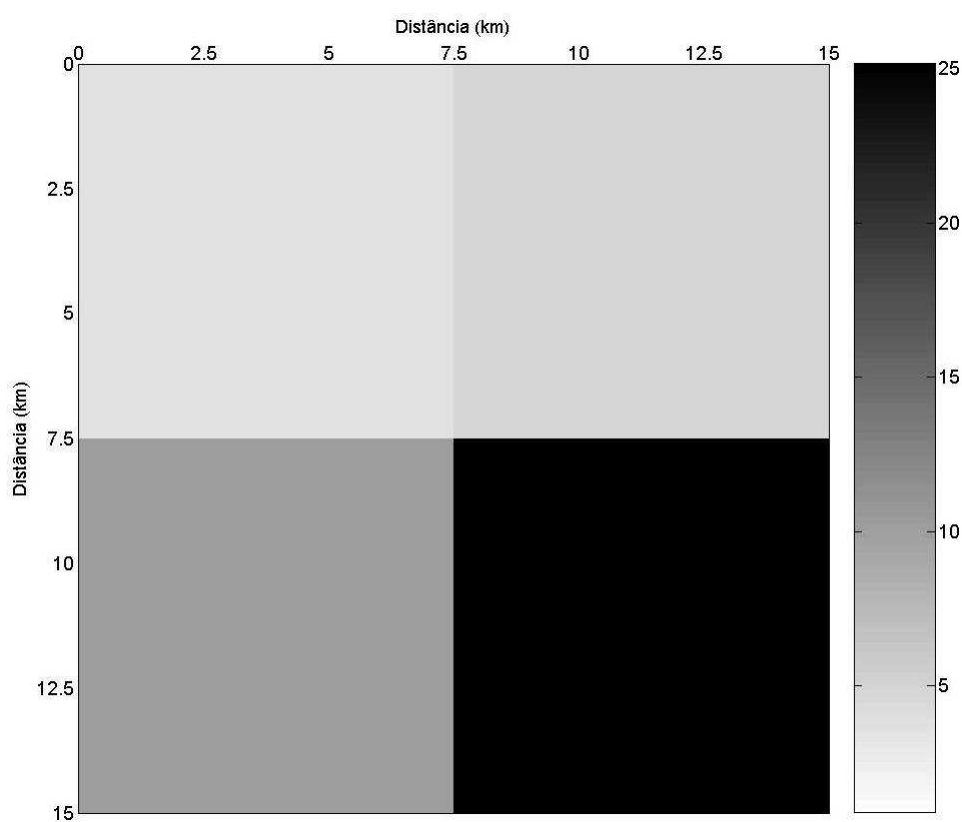


FIGURA 3B – CAMPO DE CHUVA PREVISTO PELO WRF

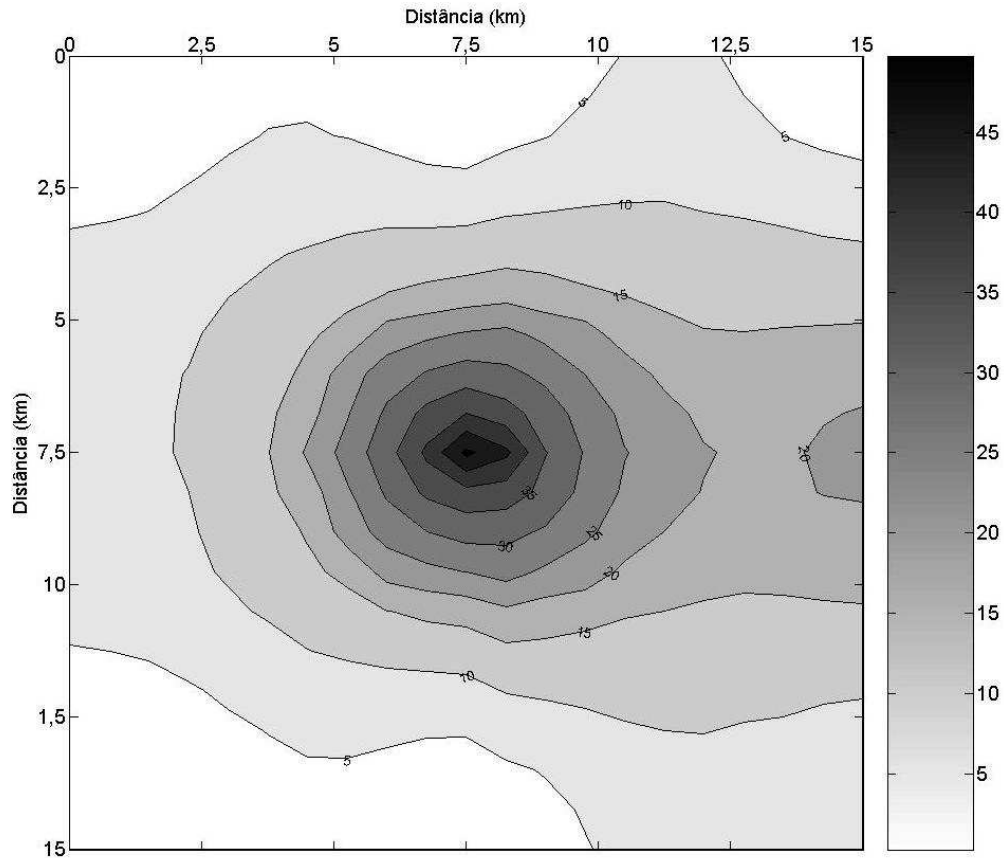


FIGURA 4B – CAMPO DE CHUVA DESAGREGADA

Código Fonte 1:

```
%Graficos Chuva Sem Desagregar
```

```
%MATLAB 7.0
```

```
%Franciele Reynaud
```

```
=====
```

```
%Limpendo a memória
```

```
clear all;
```

```
clc;
```

```
=====
```

```
%Introdução
```

```
disp('Gráficos');
```

```
=====
```

```
%Gerando o mapa de Cores
```

```
a=[0:0.01:1];
```

```
a=rot90(a);
```

```
graf=[a,a,a];
```

```
%Lendo o arquivo de entrada
```

```
z=load('exemplo.txt'); % Nome do arquivo
```

```
%Gerando vetores do eixos
```

```
x=0:7.5:15;
```

```

y=0:7.5:15;

%Grafico
surf(x,y,z)
view(0,90);
xlabel('Distância (km)')
ylabel('Distância (km)')
grid off
shading flat
axis equal
axis tight
box on
colormap(graf)
colorbar

```

Código Fonte 2:

```

%Graficos Chuva Desagregada
%MATLAB 7.0
%Franciele Reynaud

%=====
%Limpando a memória
clear all;
clc;

%=====
%Introdução
disp('Gráficos');

%=====
% Gerando Mapa de cores
a=[0:0.01:1];
a=rot90(a);
graf=[a,a,a];

%Vetor da isoietas
v=[0:5:150];

% Lendo arquivo de entrada
z=load('desagregada.txt'); % Nome do arquivo

%Vetores dos Eixos
x=0:0.75:15;
y=0:0.75:15;

%Grafico
[C,h]=contourf(x,y,z,v);
clabel(C,h,'manual')
xlabel('Distância (km)')
ylabel('Distância (km)')
grid off
axis equal
axis tight
box on
colormap(graf)
colorbar

```

APÊNDICE C – MAPAS DOS EVENTOS DE CHUVA

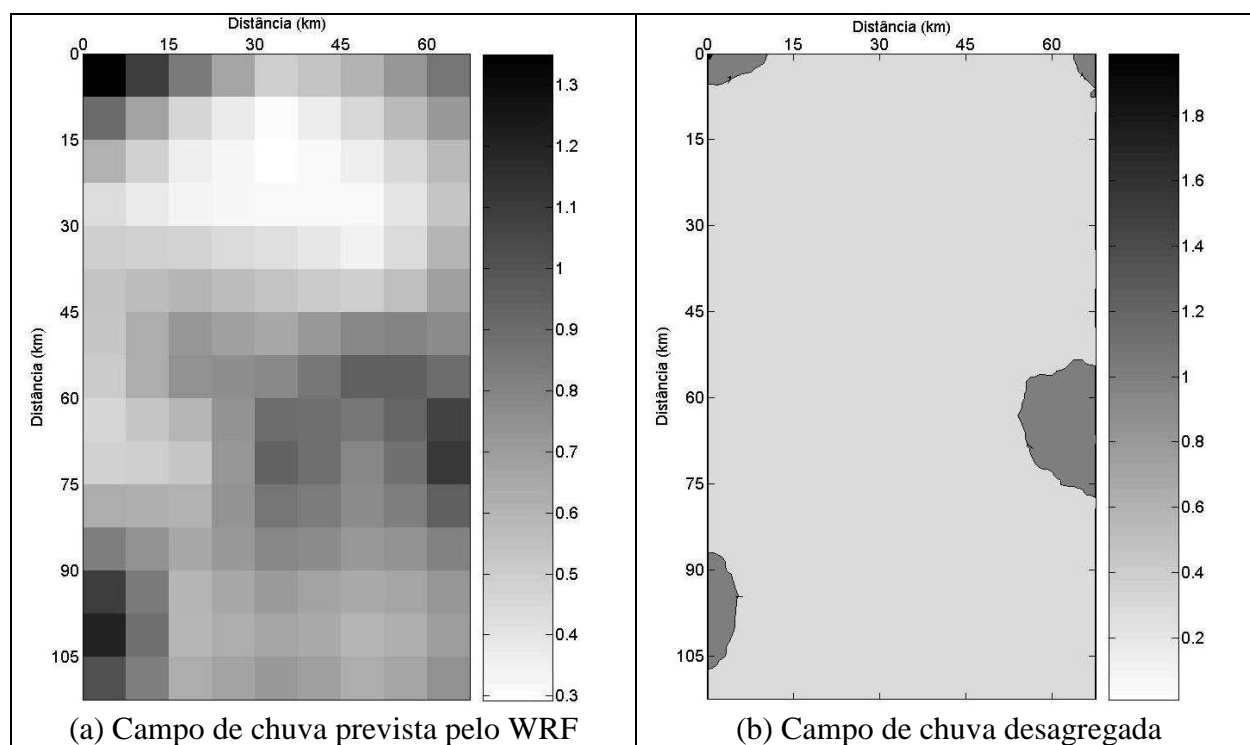


FIGURA 1C – EVENTO DE CHUVA EM 01/10/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

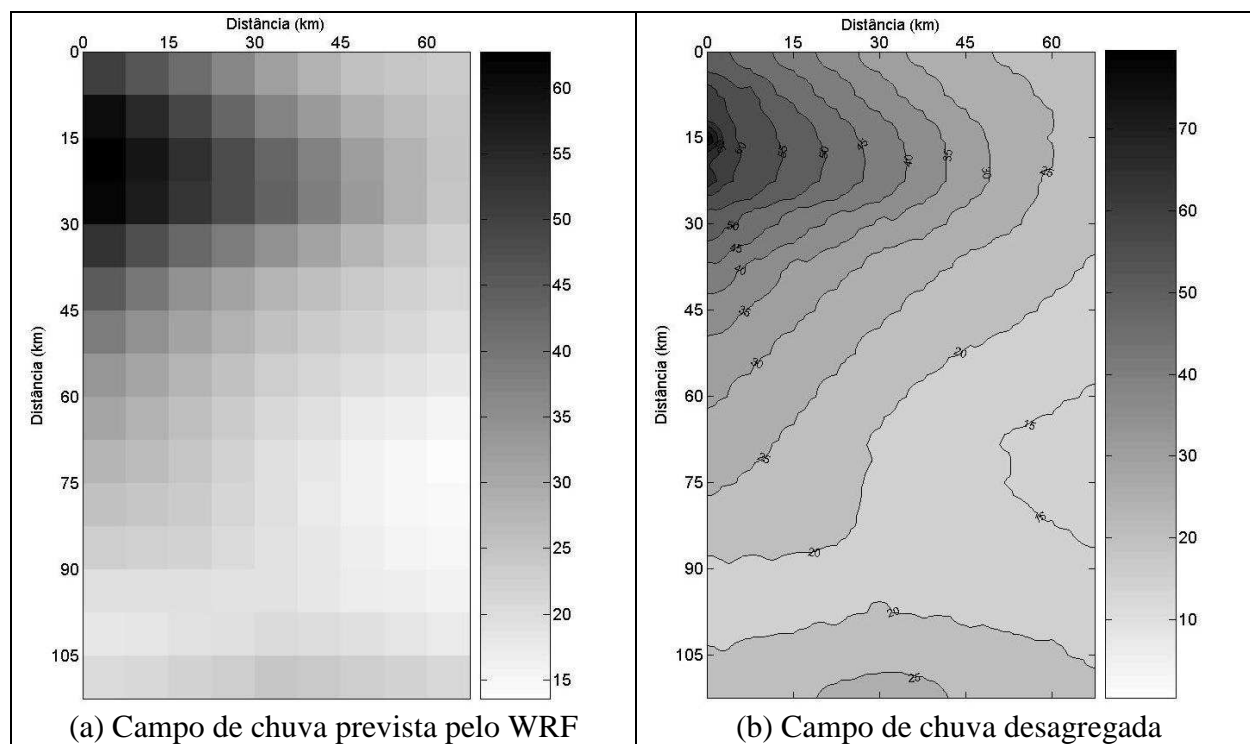


FIGURA 2C - EVENTO DE CHUVA EM 17/10/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

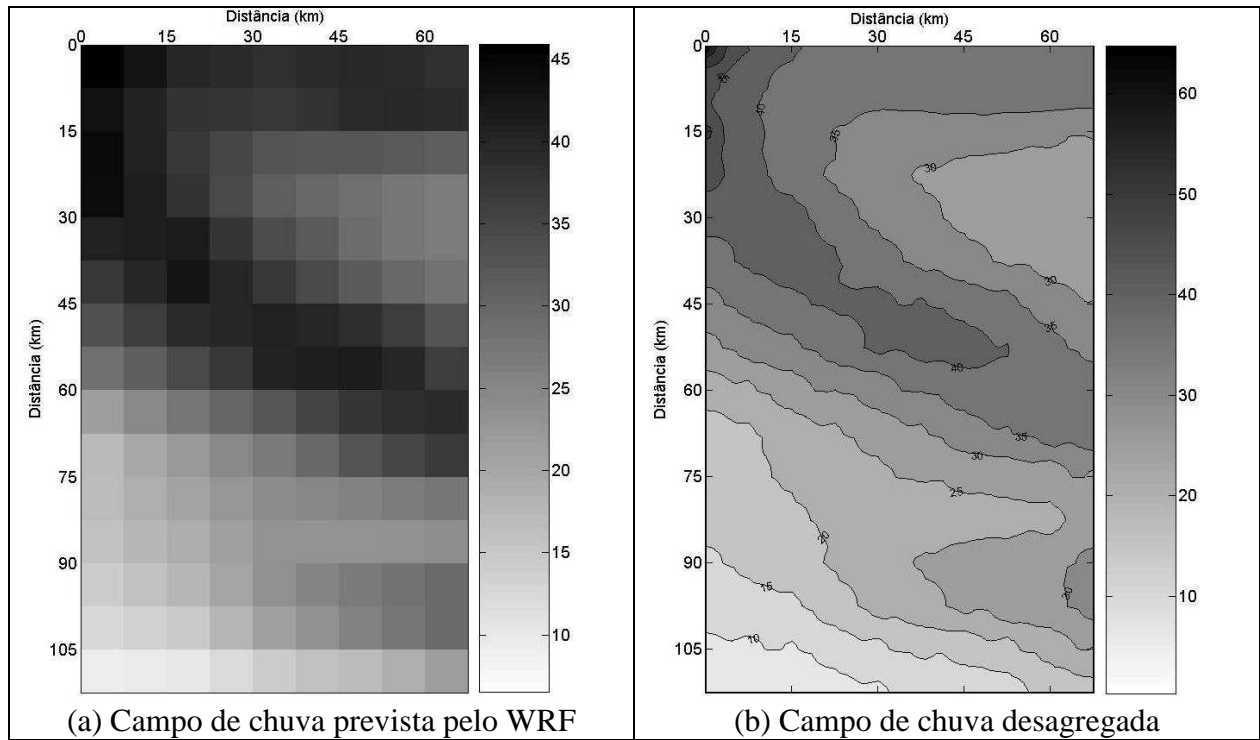


FIGURA 3C - EVENTO DE CHUVA EM 17/10/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

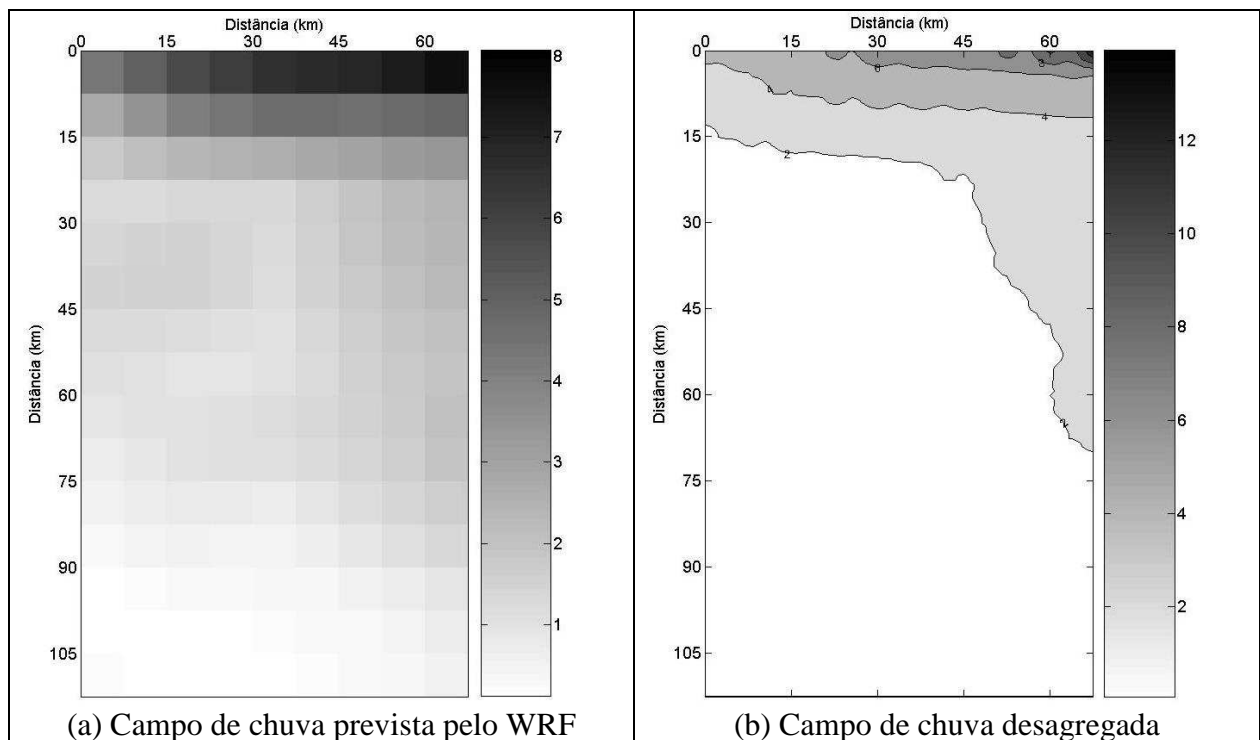


FIGURA 4C - EVENTO DE CHUVA EM 29/10/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

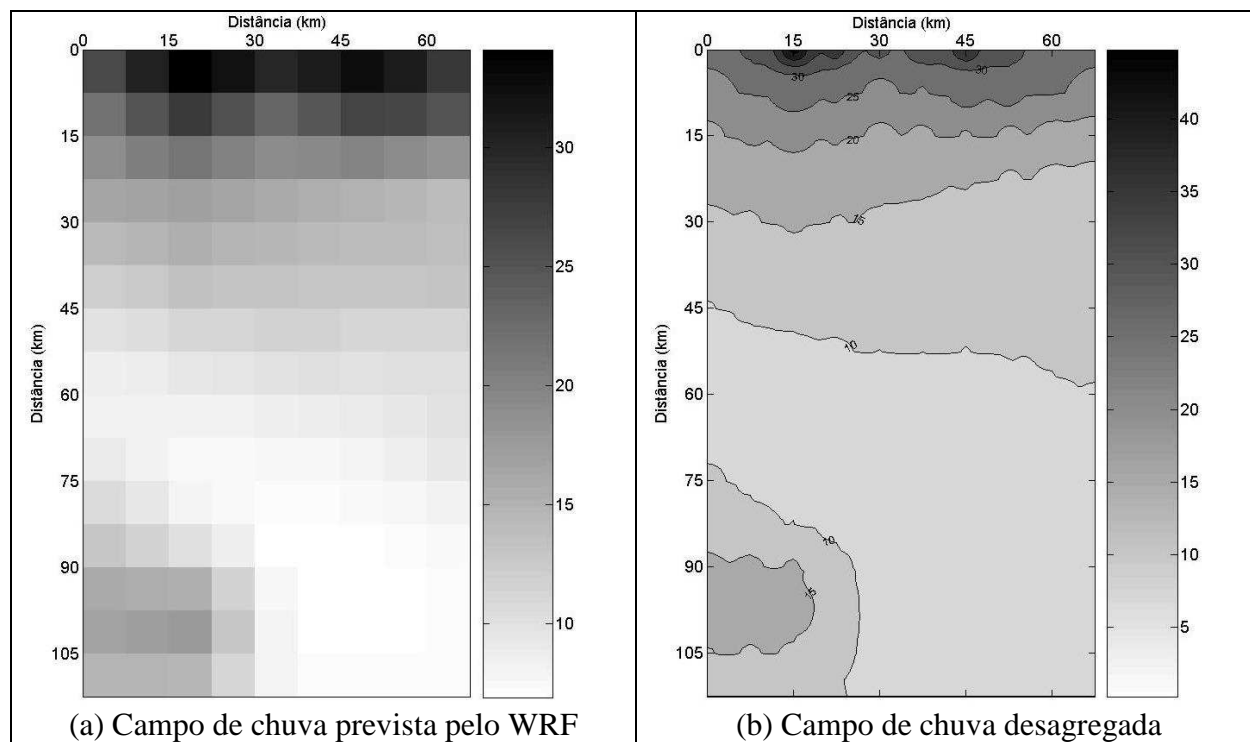


FIGURA 5C - EVENTO DE CHUVA EM 29/10/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

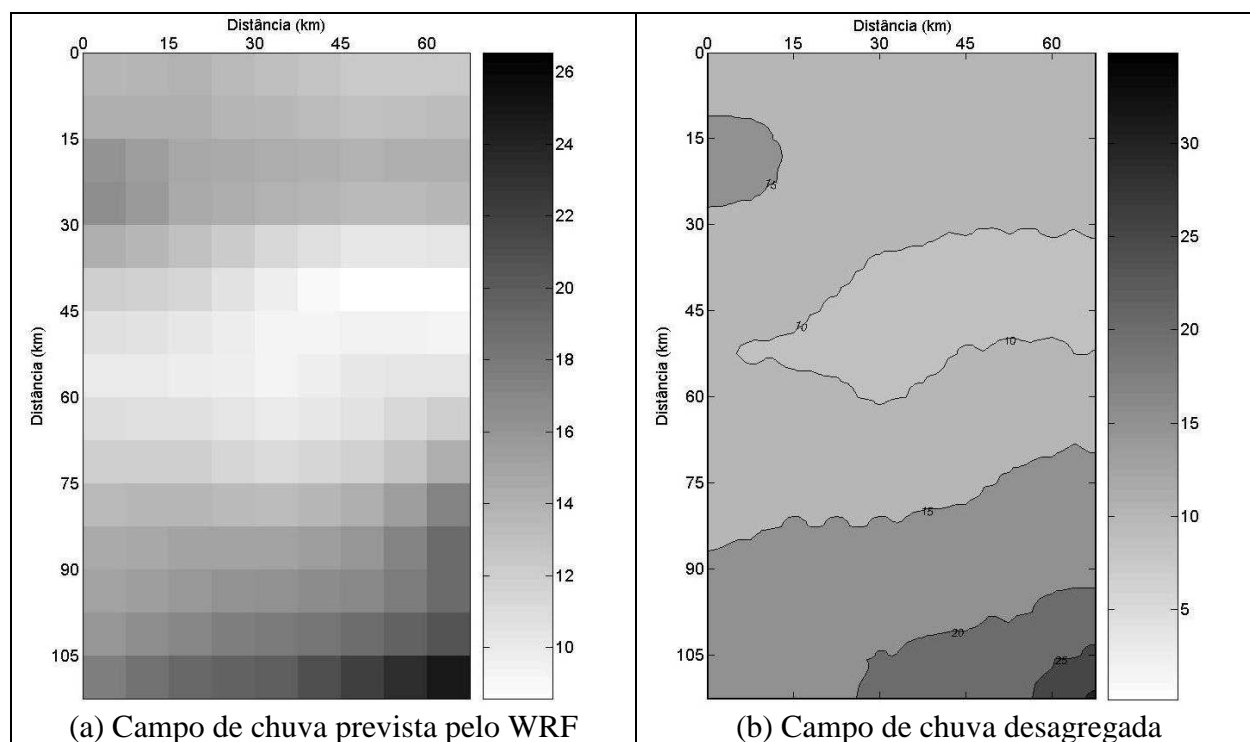


FIGURA 6C – EVENTO DE CHUVA EM 07/11/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

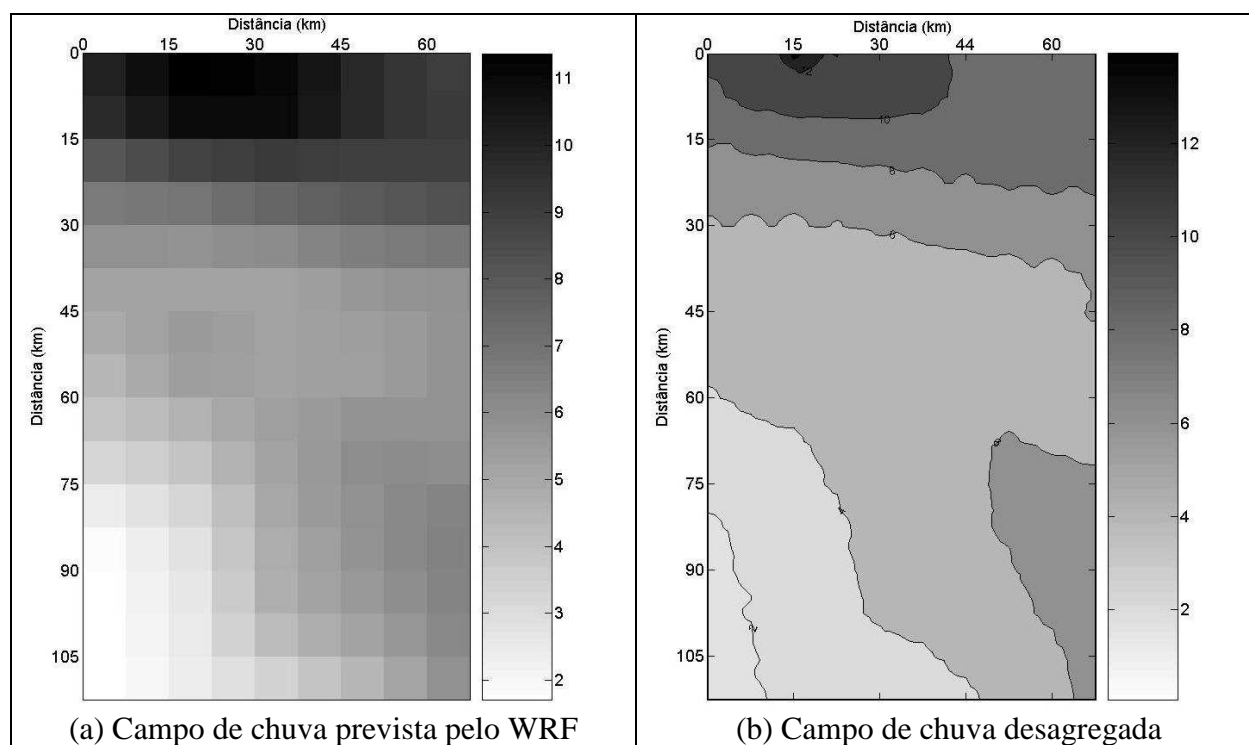


FIGURA 7C – EVENTO DE CHUVA EM 07/11/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

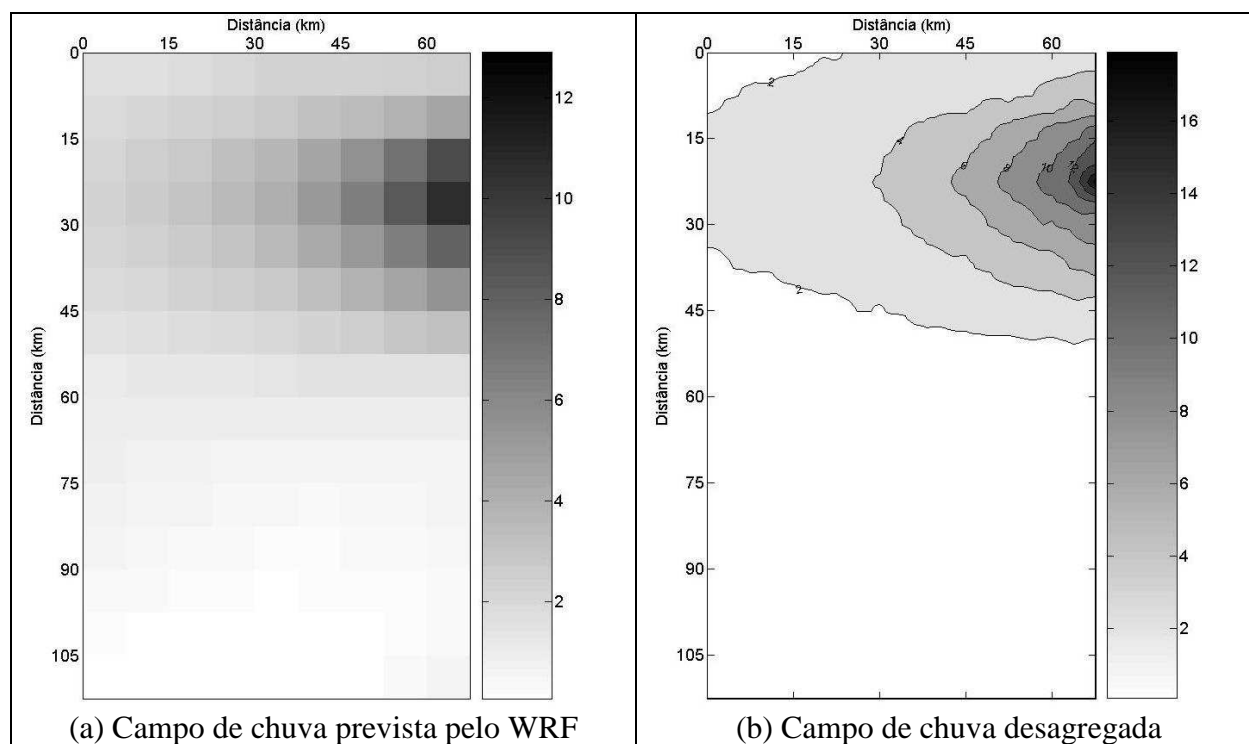


FIGURA 8C – EVENTO DE CHUVA EM 18/11/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

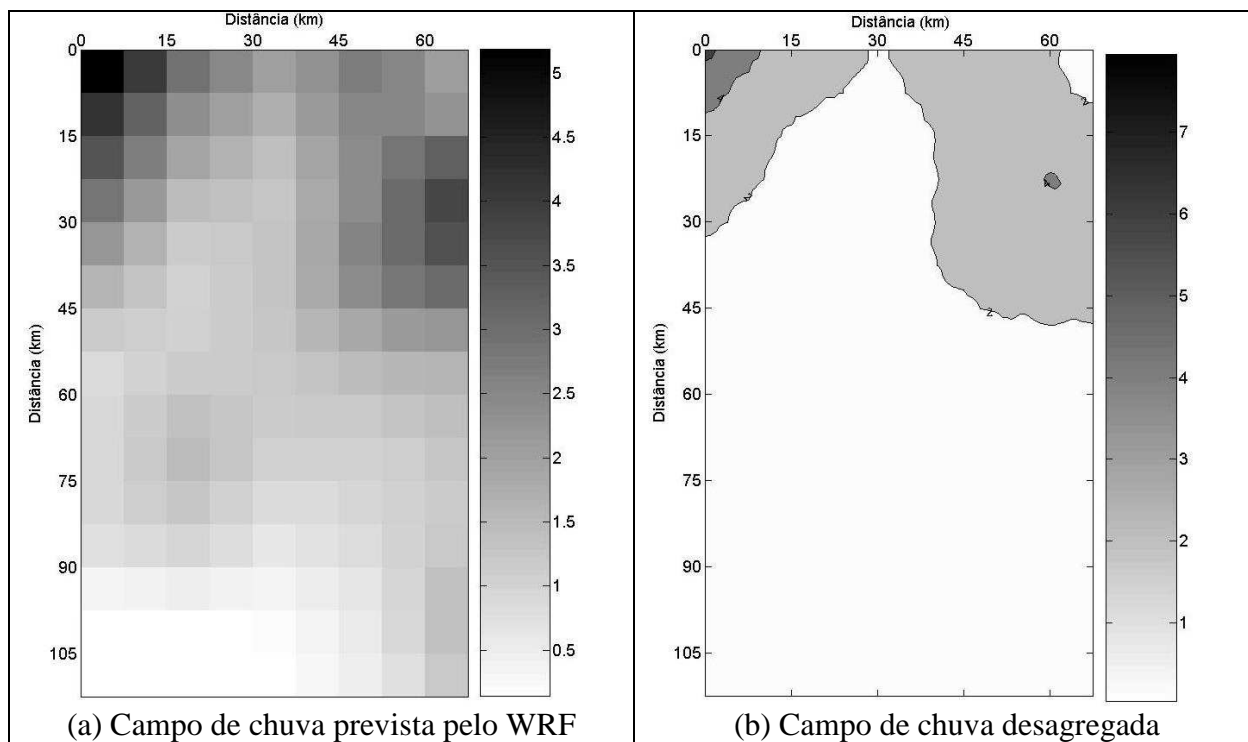


FIGURA 9C – EVENTO DE CHUVA EM 18/11/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

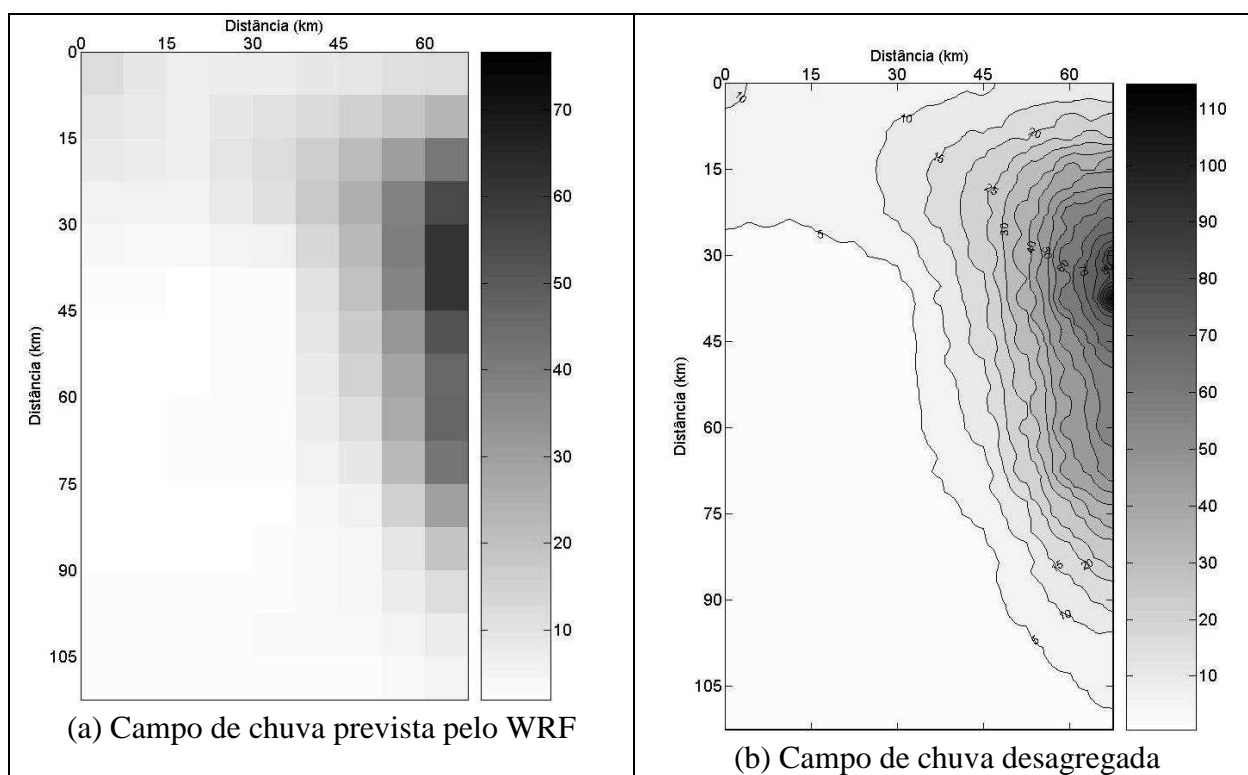


FIGURA 10C – EVENTO DE CHUVA EM 06/12/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

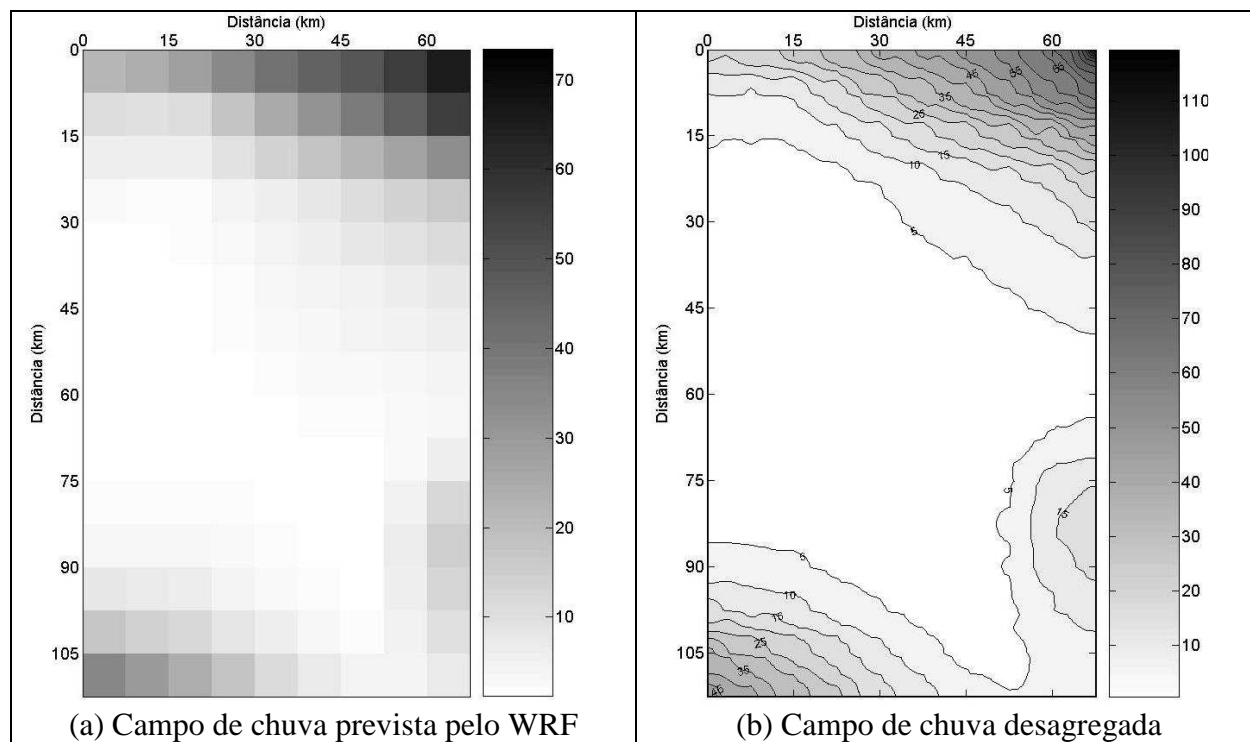


FIGURA 11C – EVENTO DE CHUVA EM 06/12/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

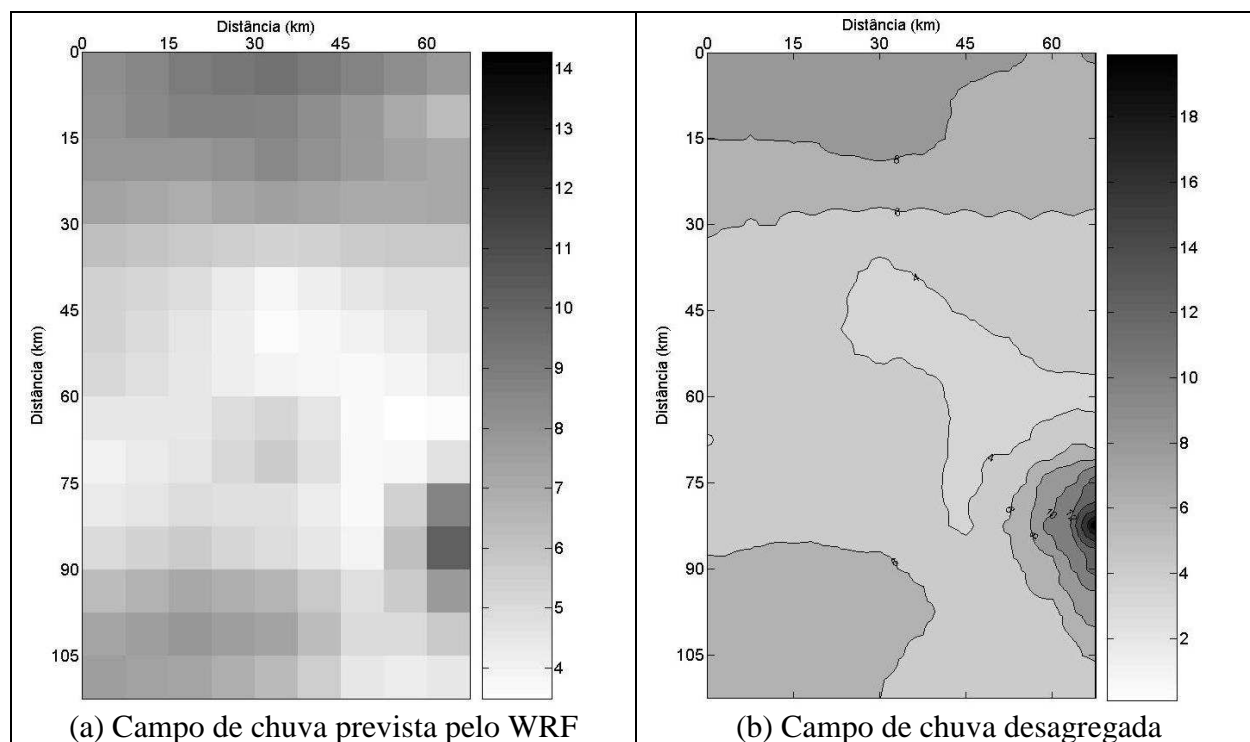


FIGURA 12C – EVENTO DE CHUVA EM 17/12/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

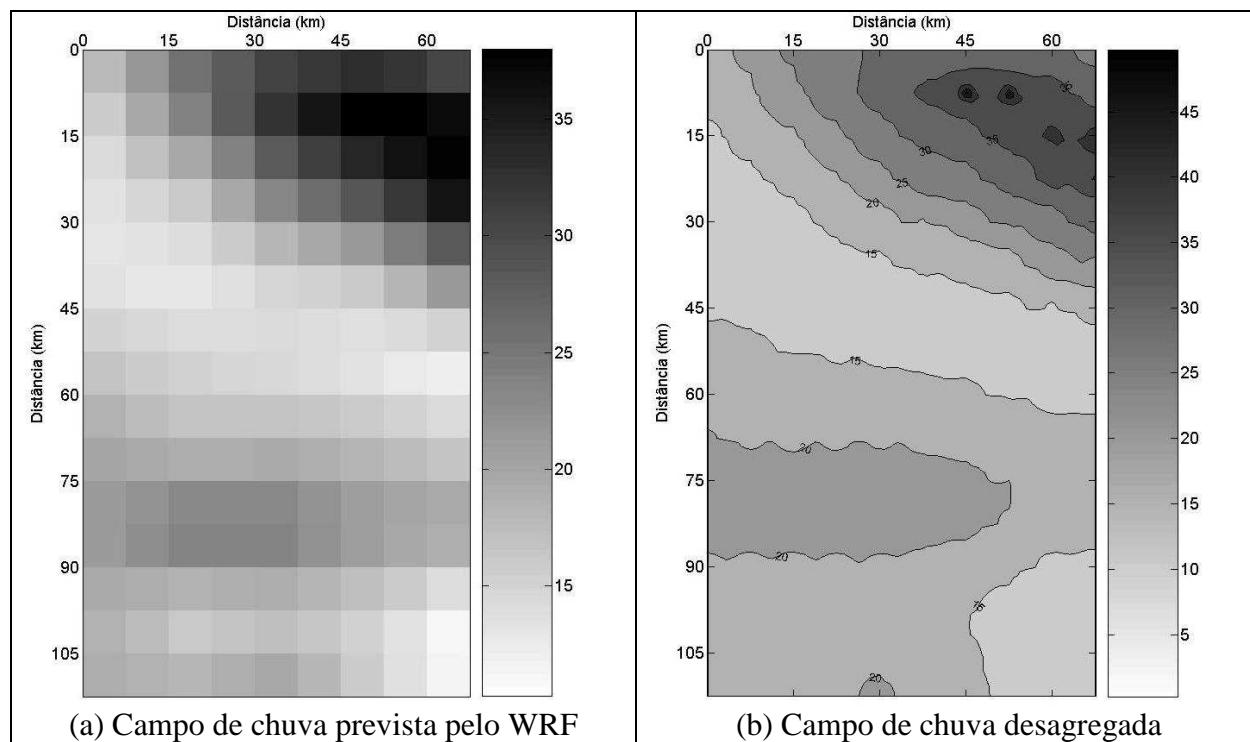


FIGURA 13C – EVENTO DE CHUVA EM 17/12/2005 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

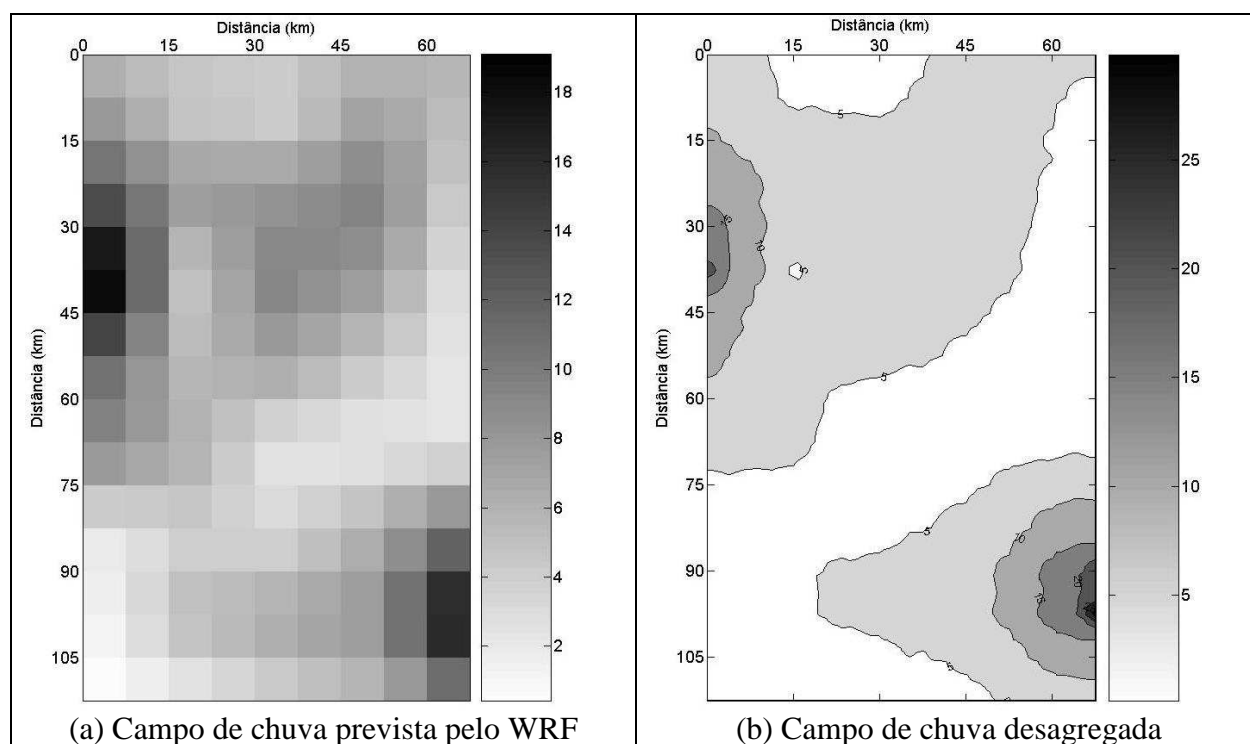


FIGURA 14C – EVENTO DE CHUVA EM 04/01/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

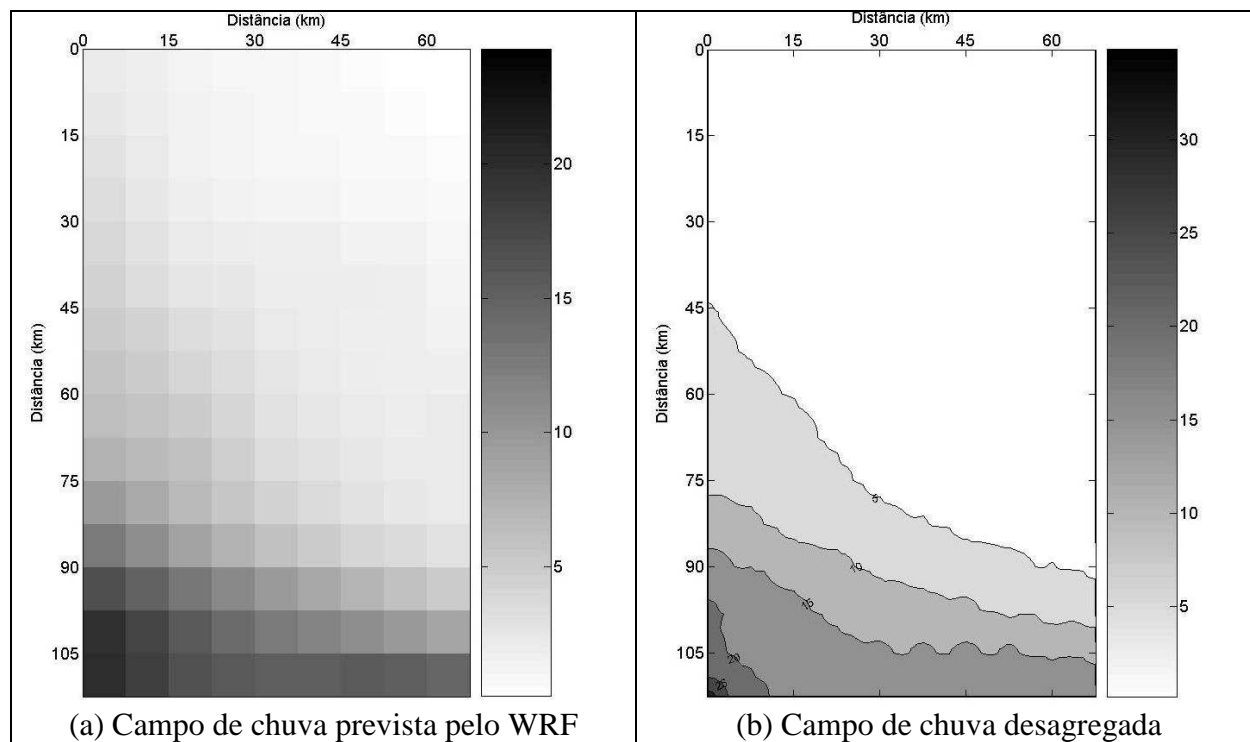


FIGURA 15C – EVENTO DE CHUVA EM 18/01/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

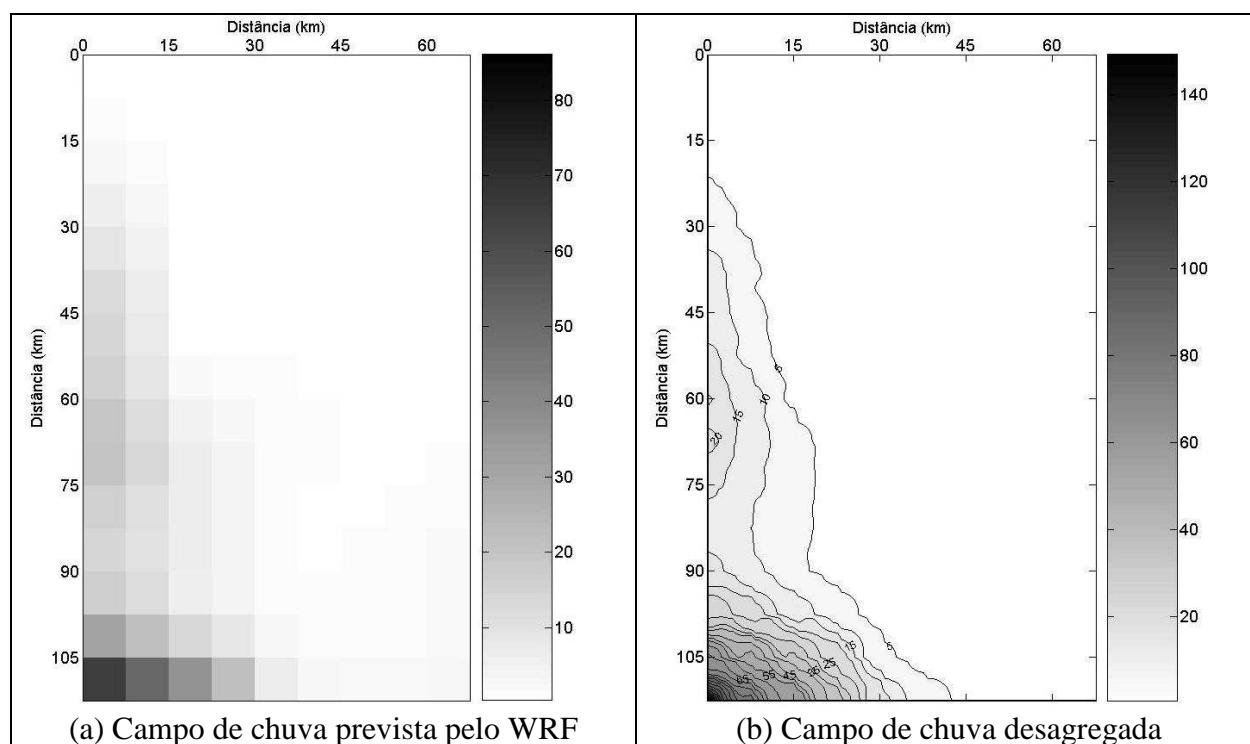


FIGURA 16C – EVENTO DE CHUVA EM 18/01/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

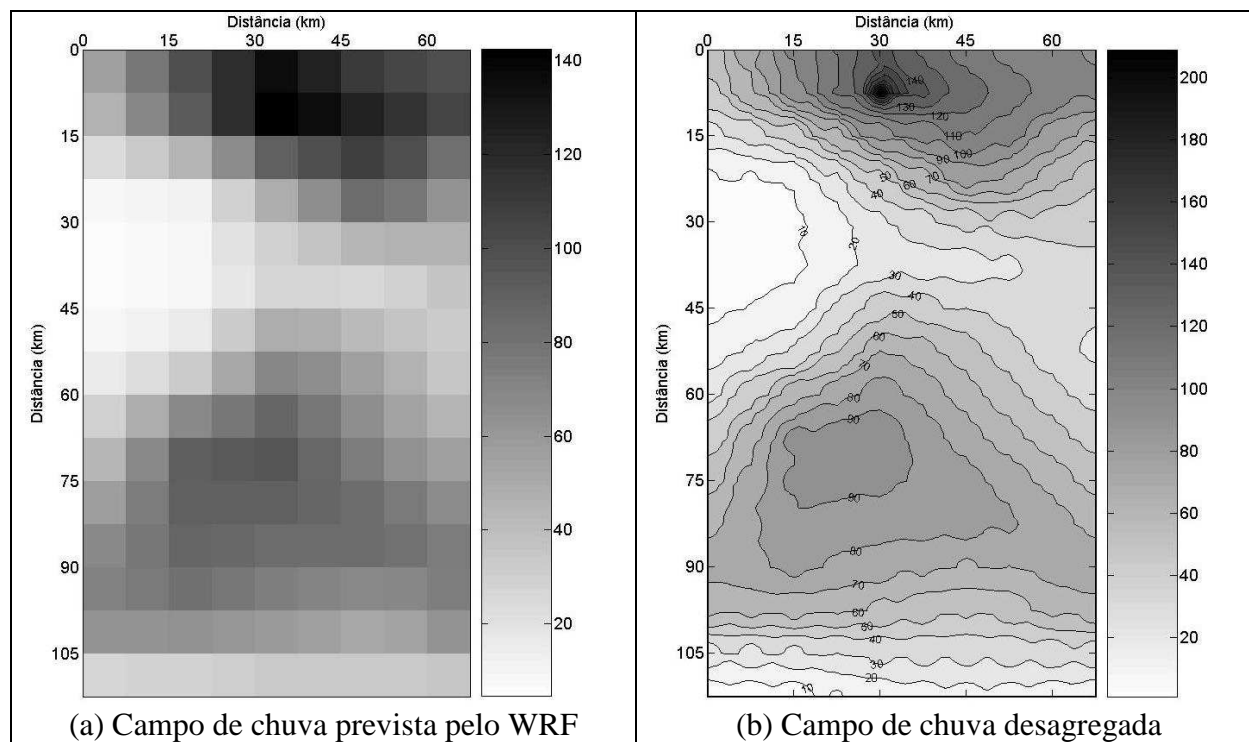


FIGURA 17C – EVENTO DE CHUVA EM 22/01/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

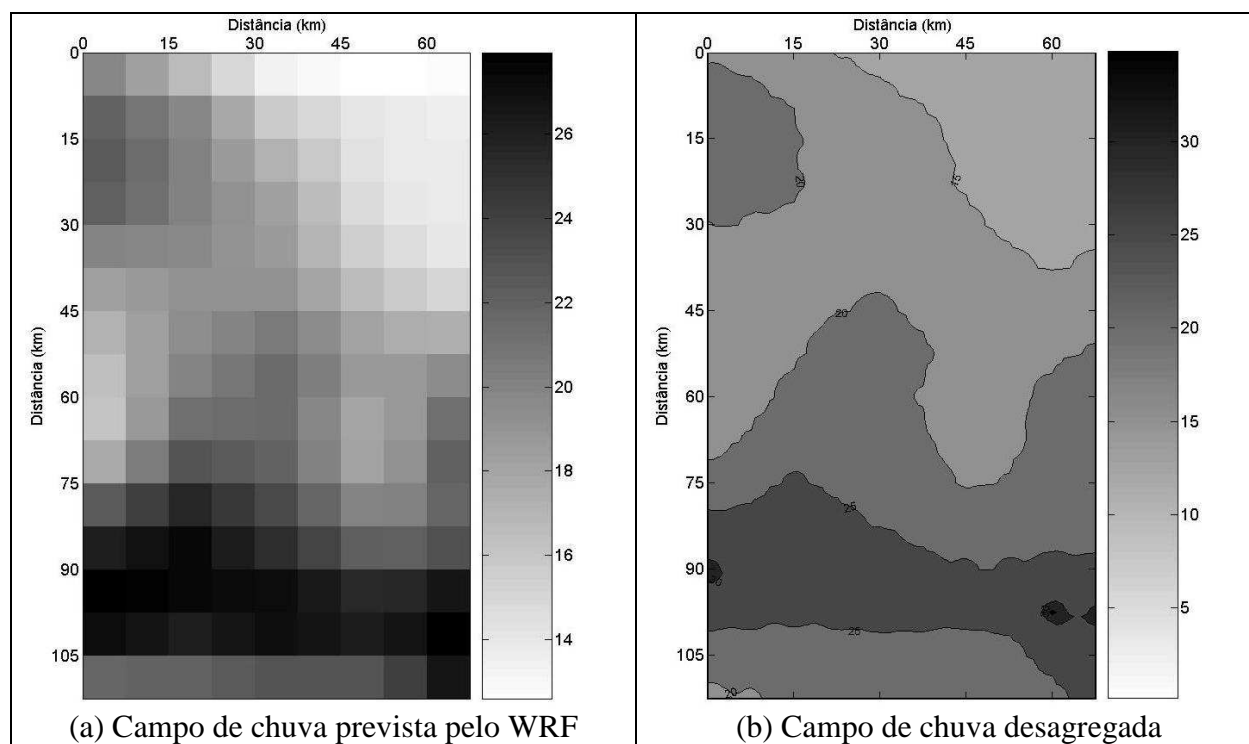


FIGURA 18C – EVENTO DE CHUVA EM 05/02/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

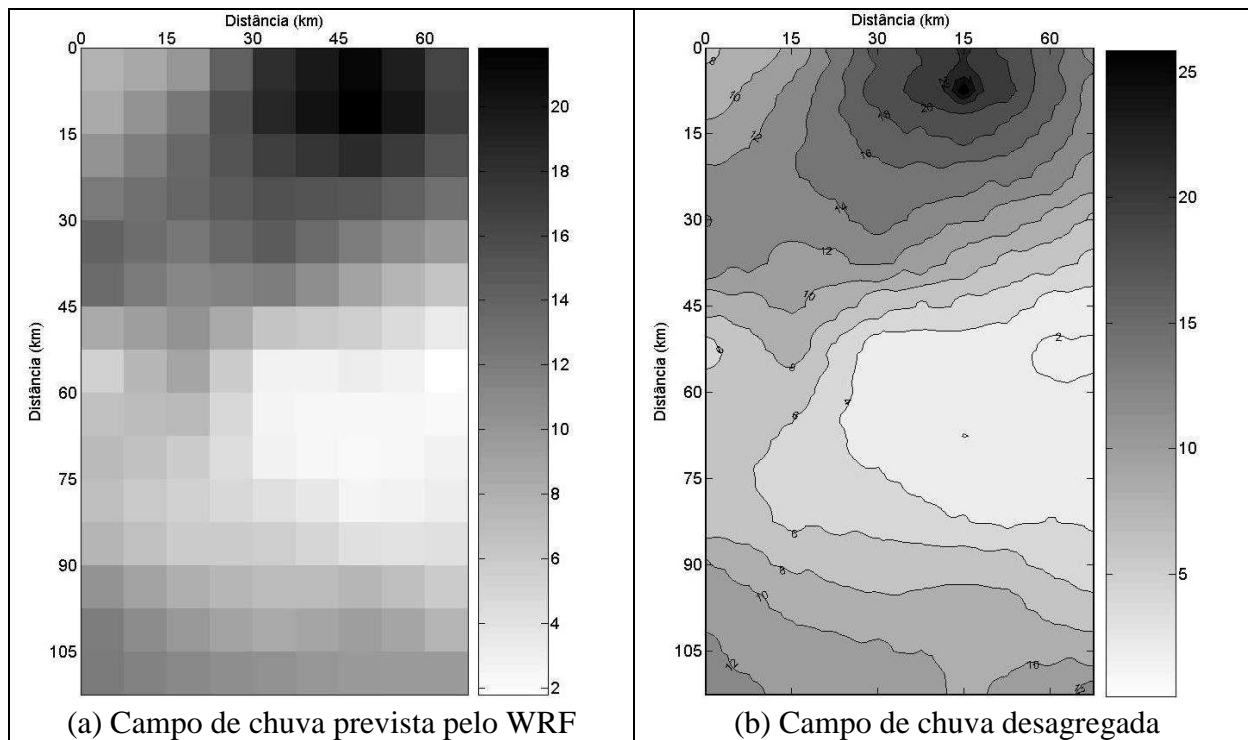


FIGURA 19C – EVENTO DE CHUVA EM 05/02/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

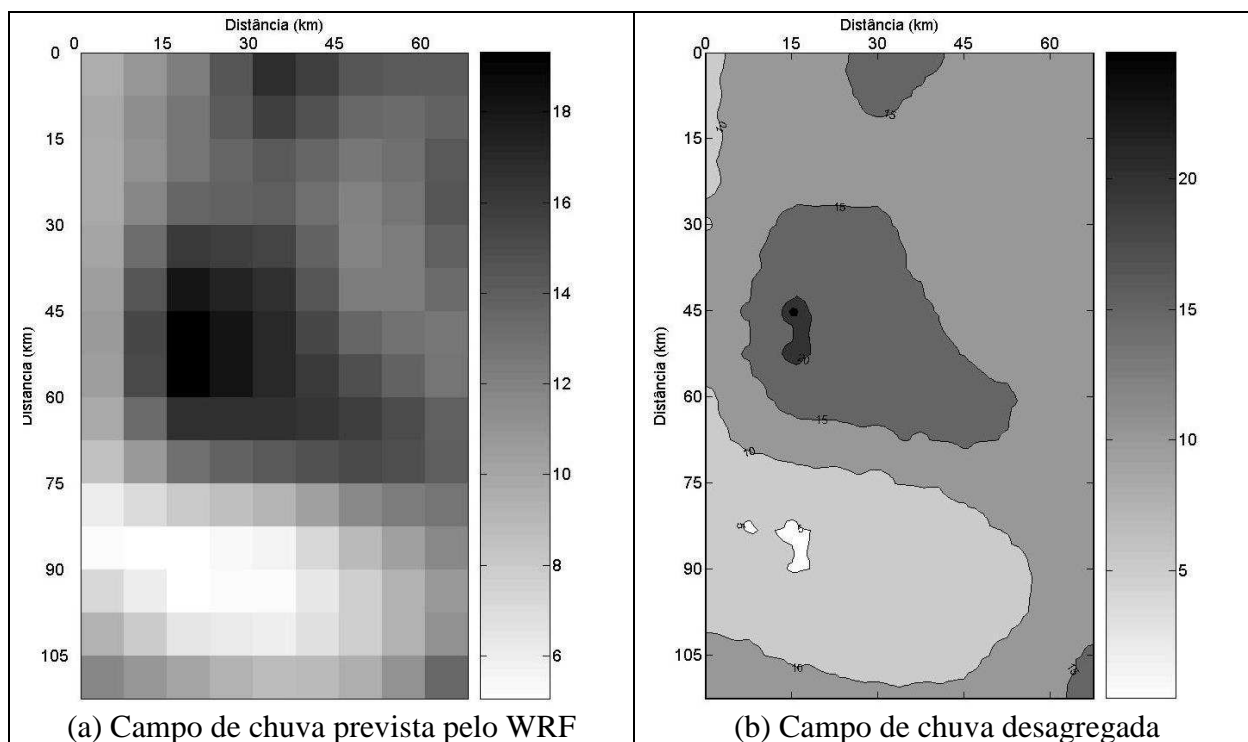


FIGURA 20C – EVENTO DE CHUVA EM 20/02/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

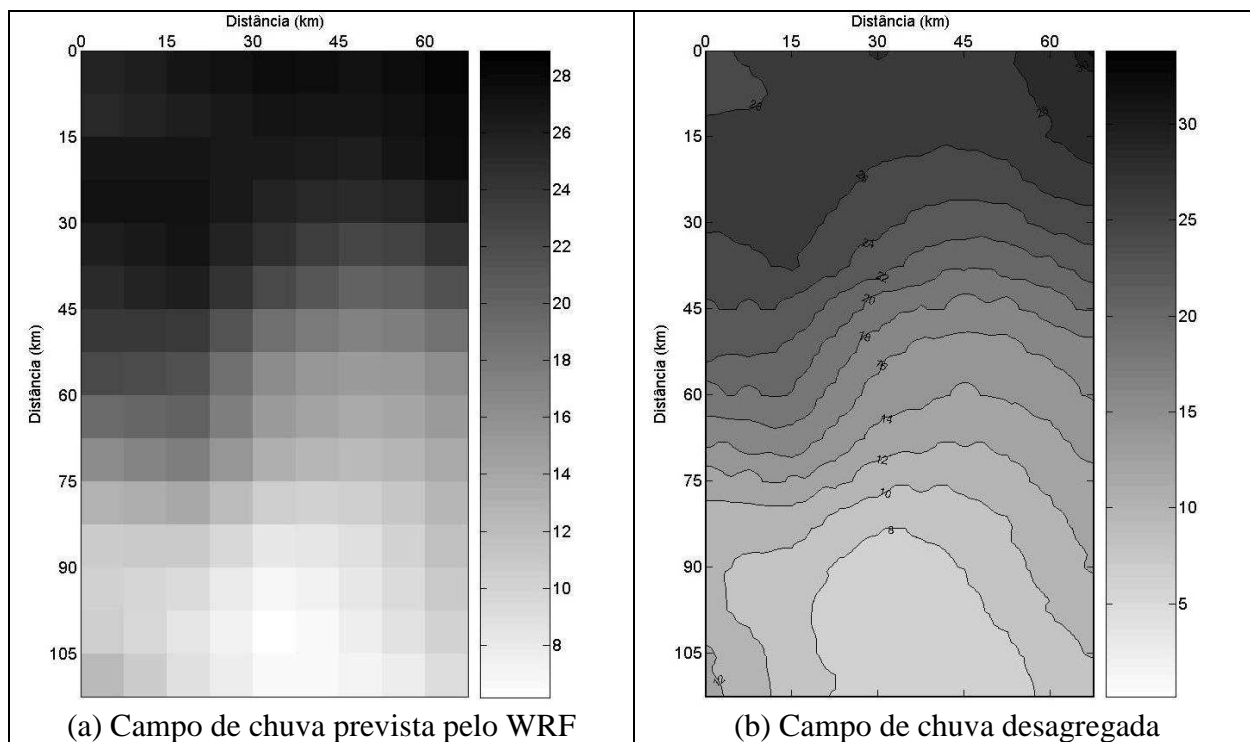


FIGURA 21C – EVENTO DE CHUVA EM 20/02/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

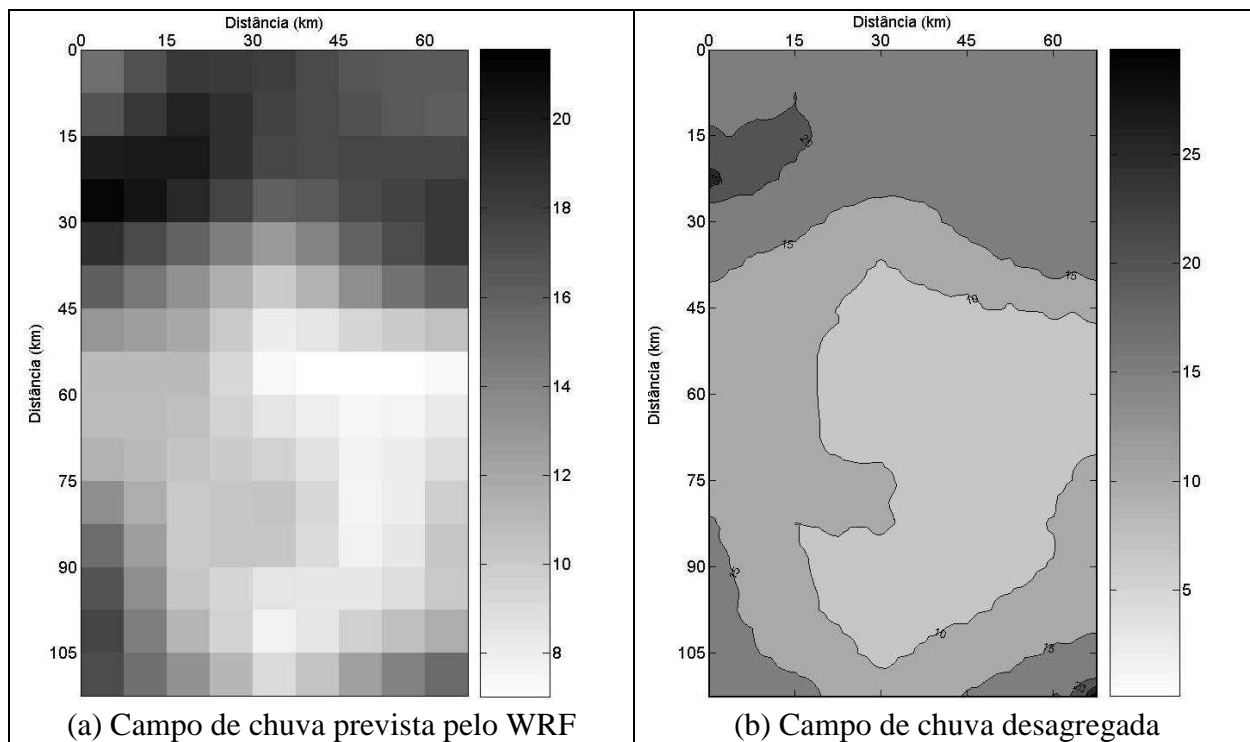


FIGURA 22C – EVENTO DE CHUVA EM 02/03/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

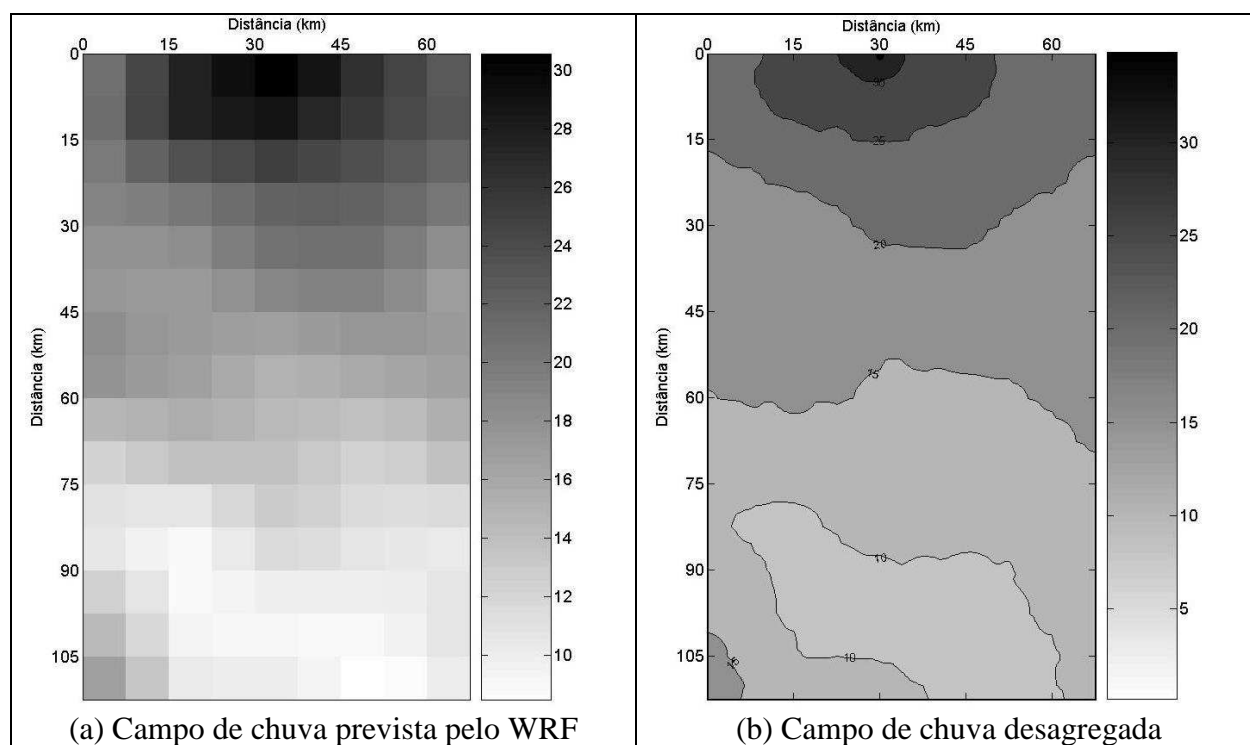


FIGURA 23C – EVENTO DE CHUVA EM 02/03/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

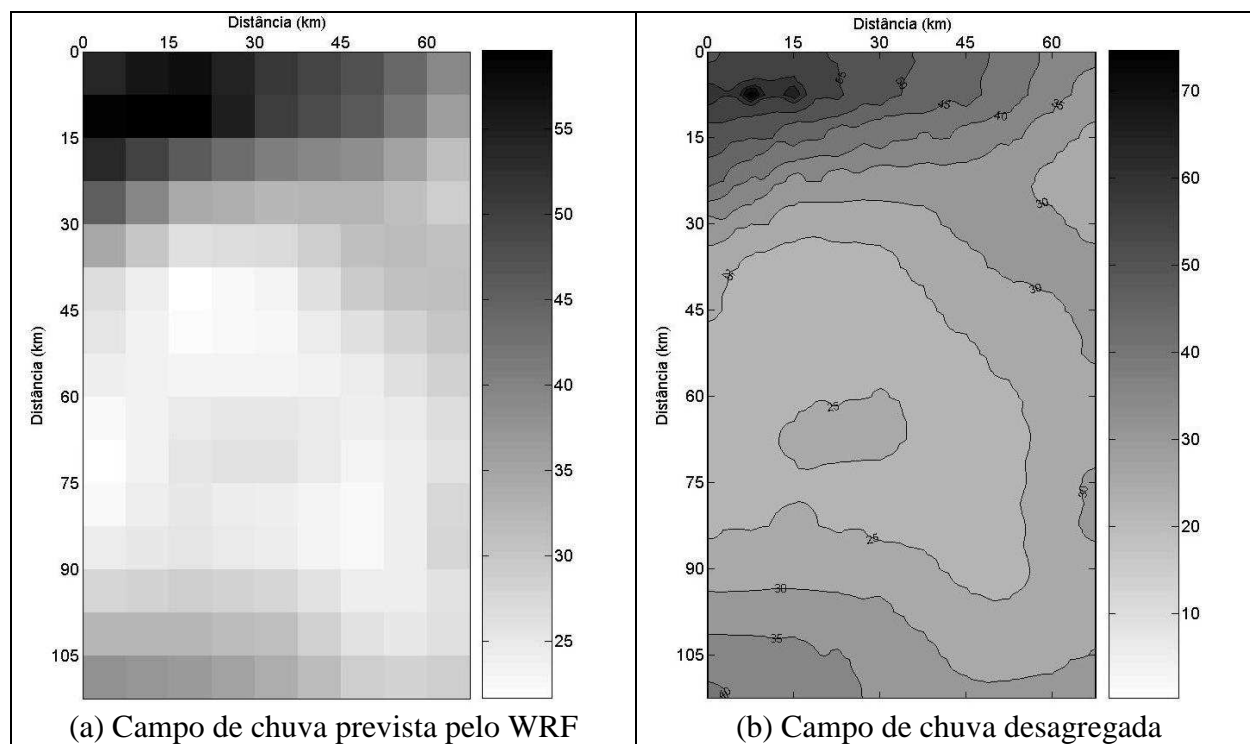


FIGURA 24C – EVENTO DE CHUVA EM 04/03/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

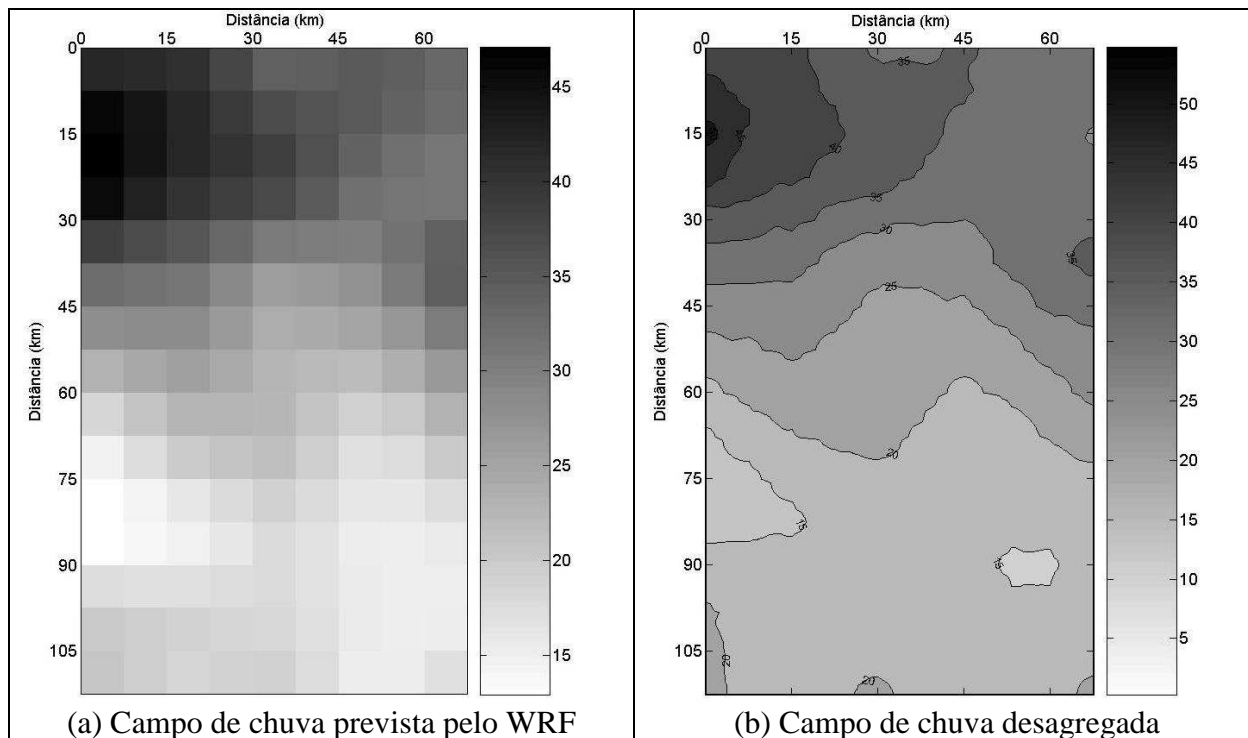


FIGURA 25C – EVENTO DE CHUVA EM 04/03/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

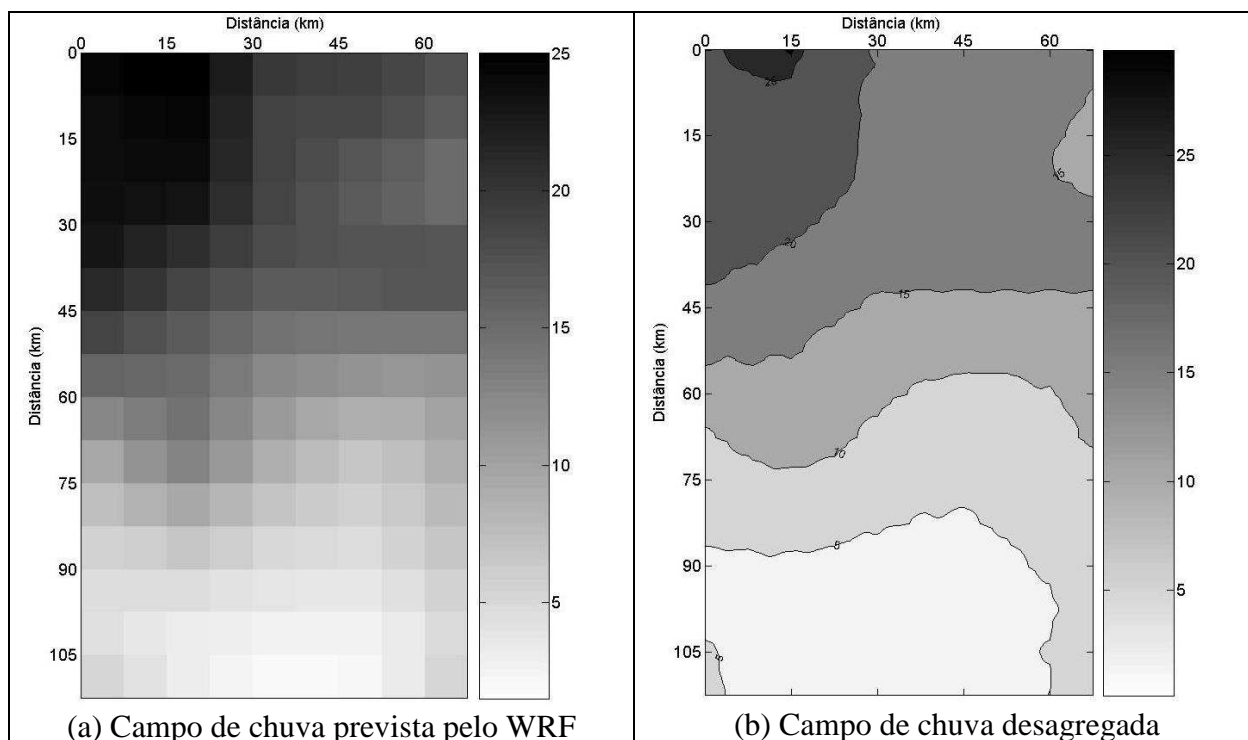


FIGURA 26C – EVENTO DE CHUVA EM 21/03/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

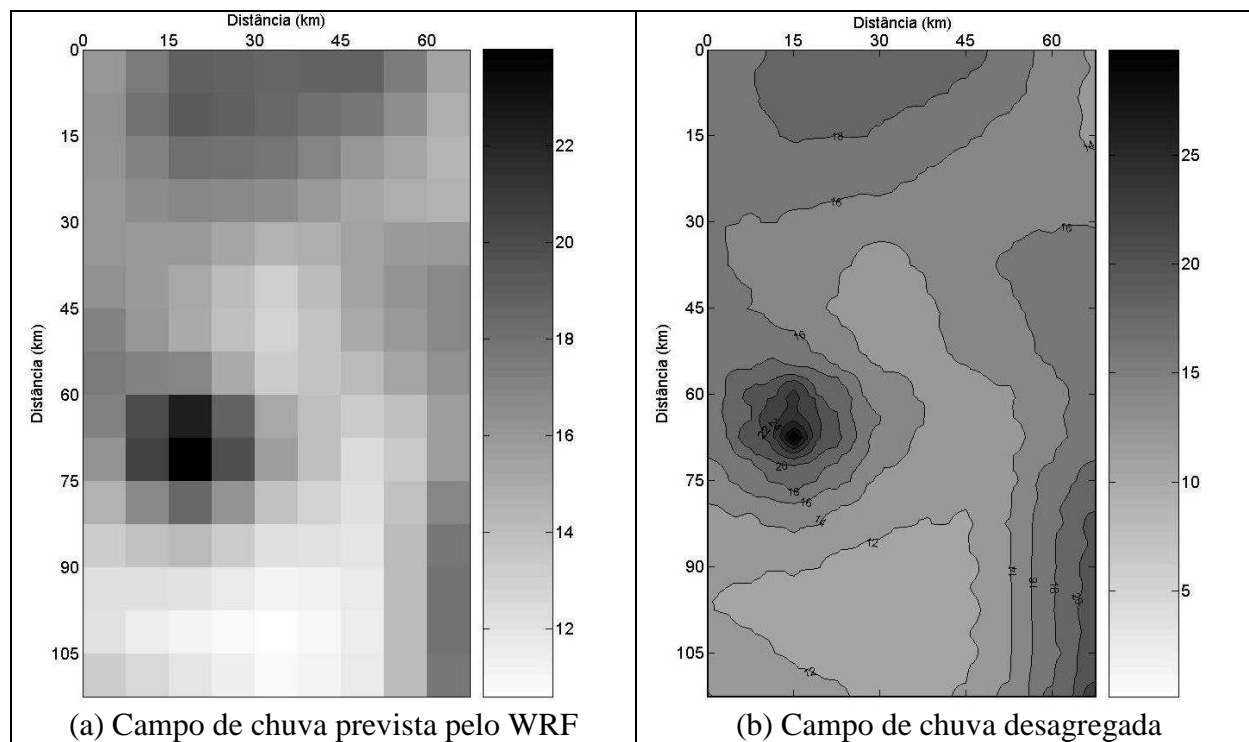


FIGURA 27C – EVENTO DE CHUVA EM 21/03/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

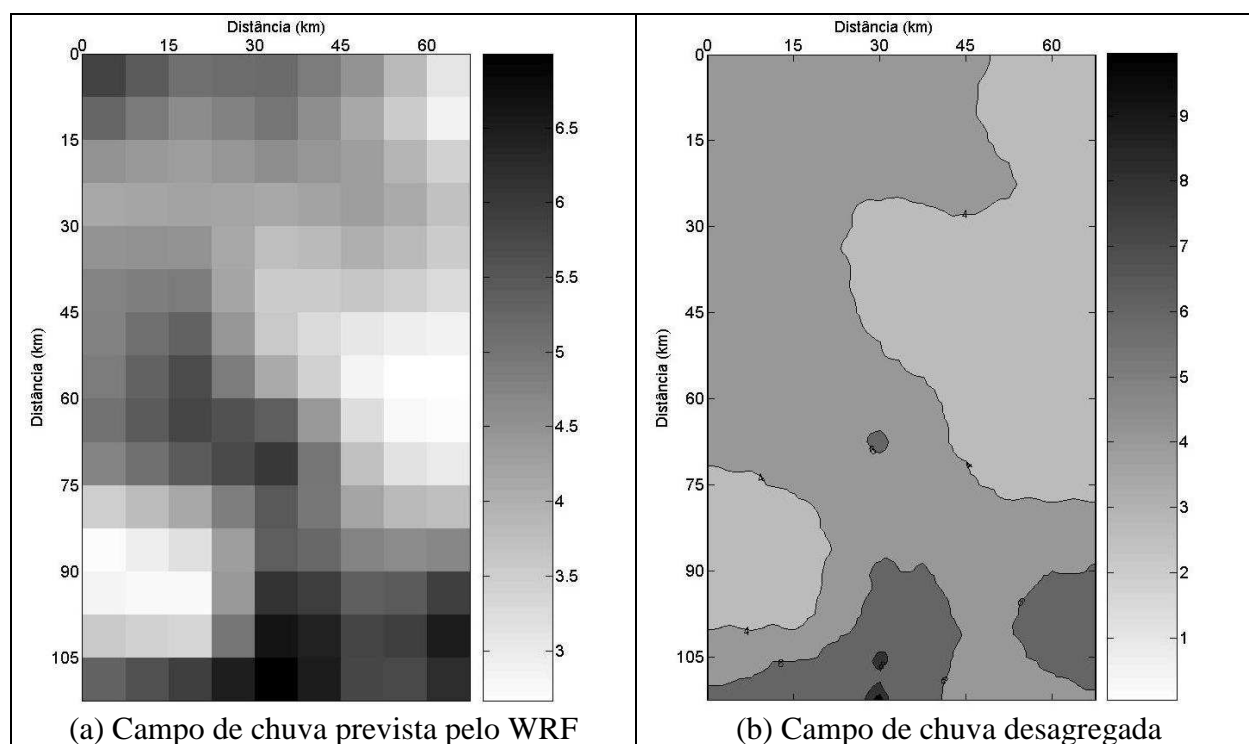


FIGURA 28C – EVENTO DE CHUVA EM 10/04/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

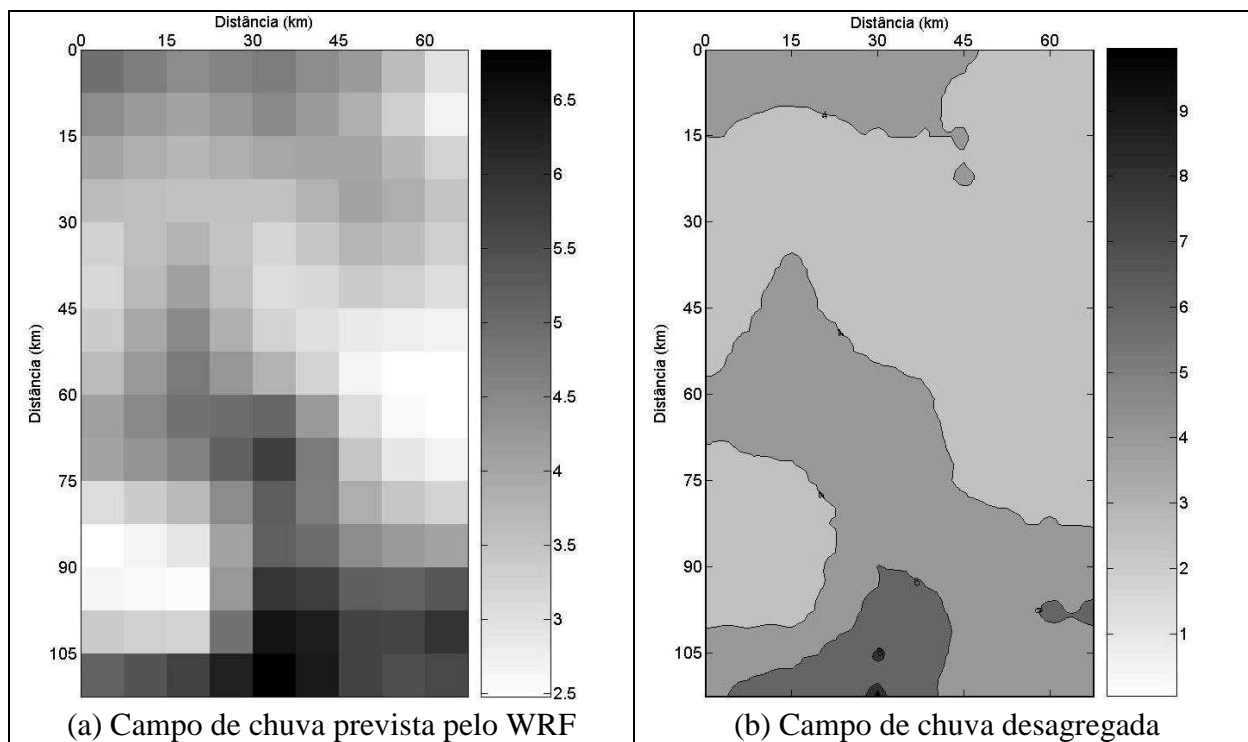


FIGURA 29C – EVENTO DE CHUVA EM 10/04/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

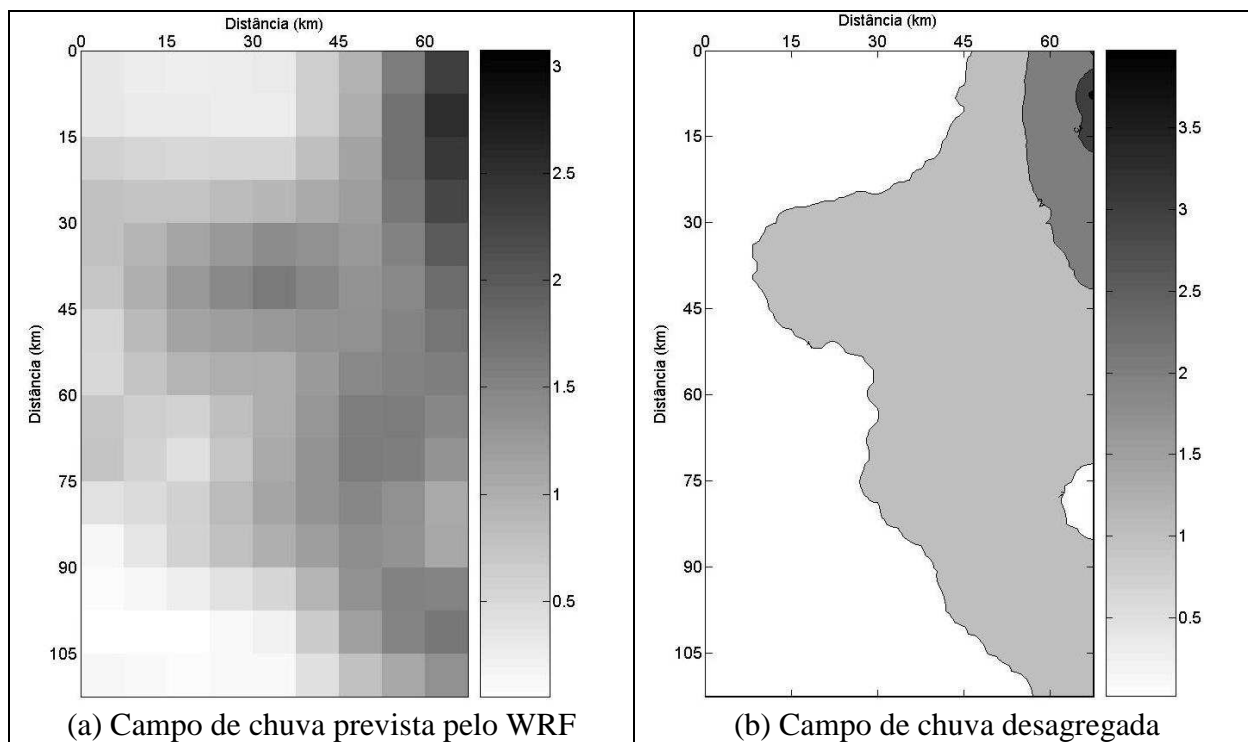


FIGURA 30C – EVENTO DE CHUVA EM 21/05/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

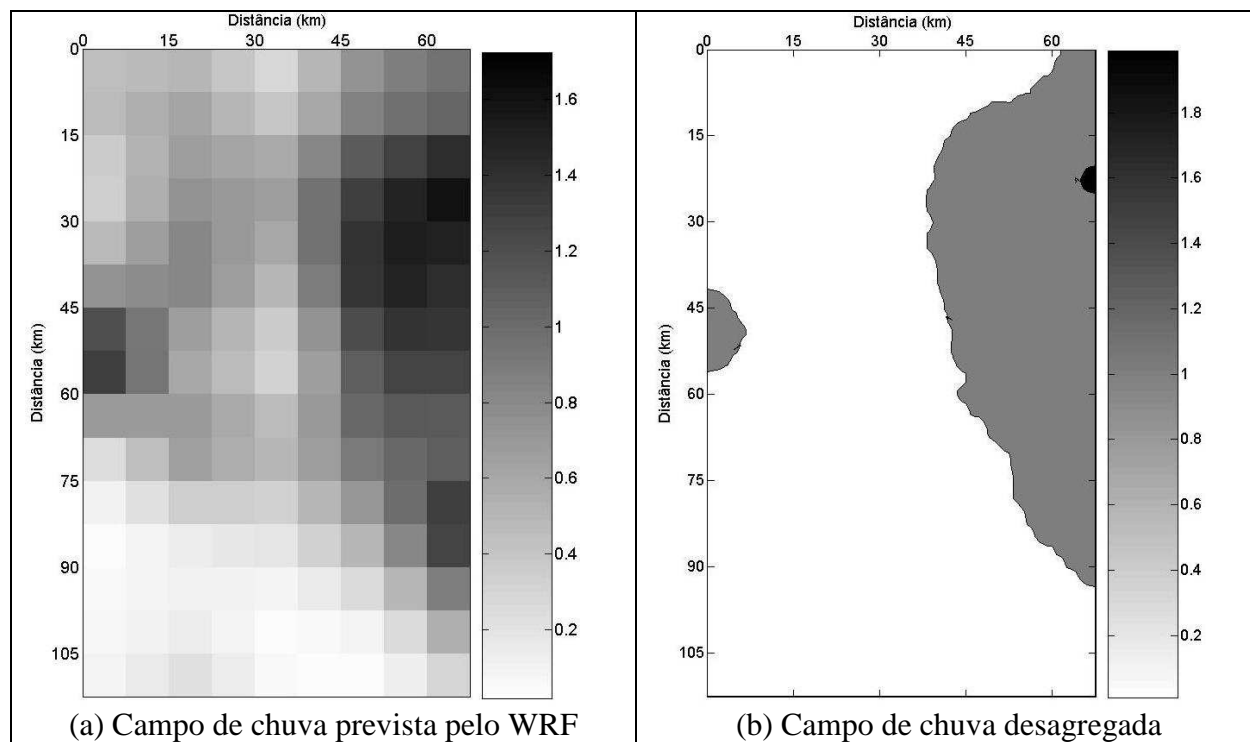


FIGURA 31C – EVENTO DE CHUVA EM 21/05/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

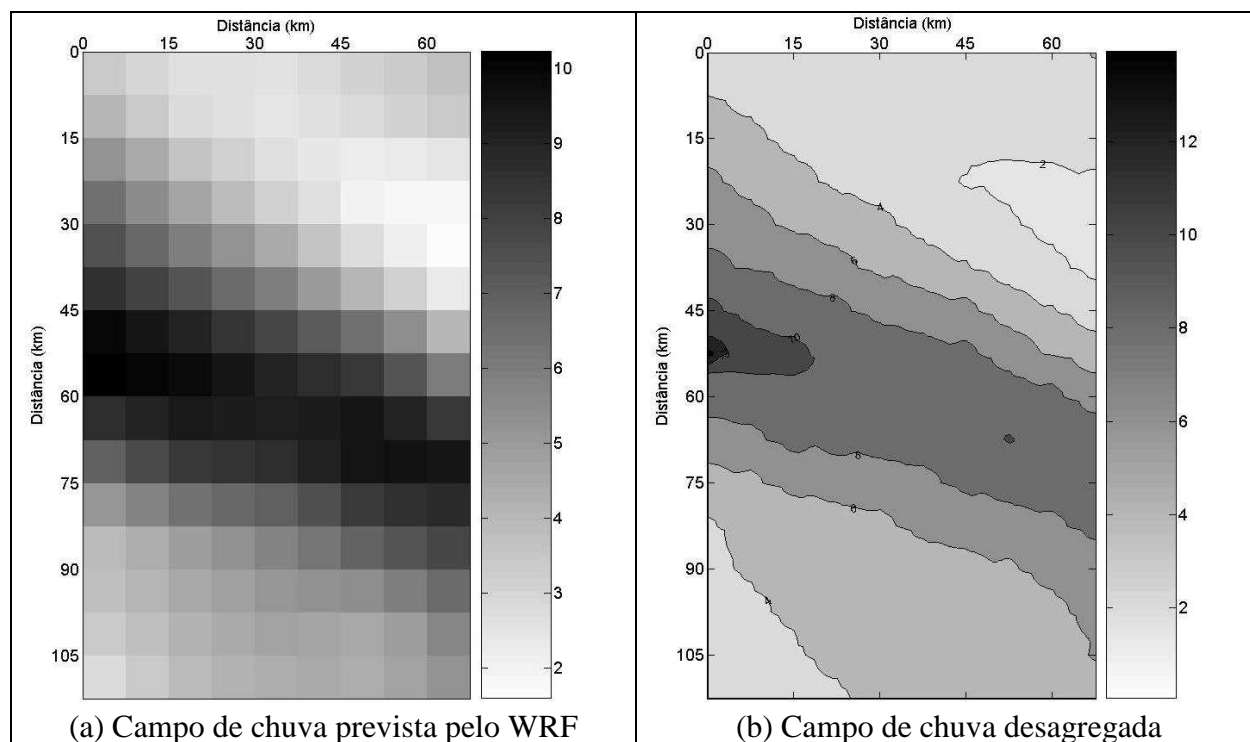


FIGURA 32C – EVENTO DE CHUVA EM 11/06/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

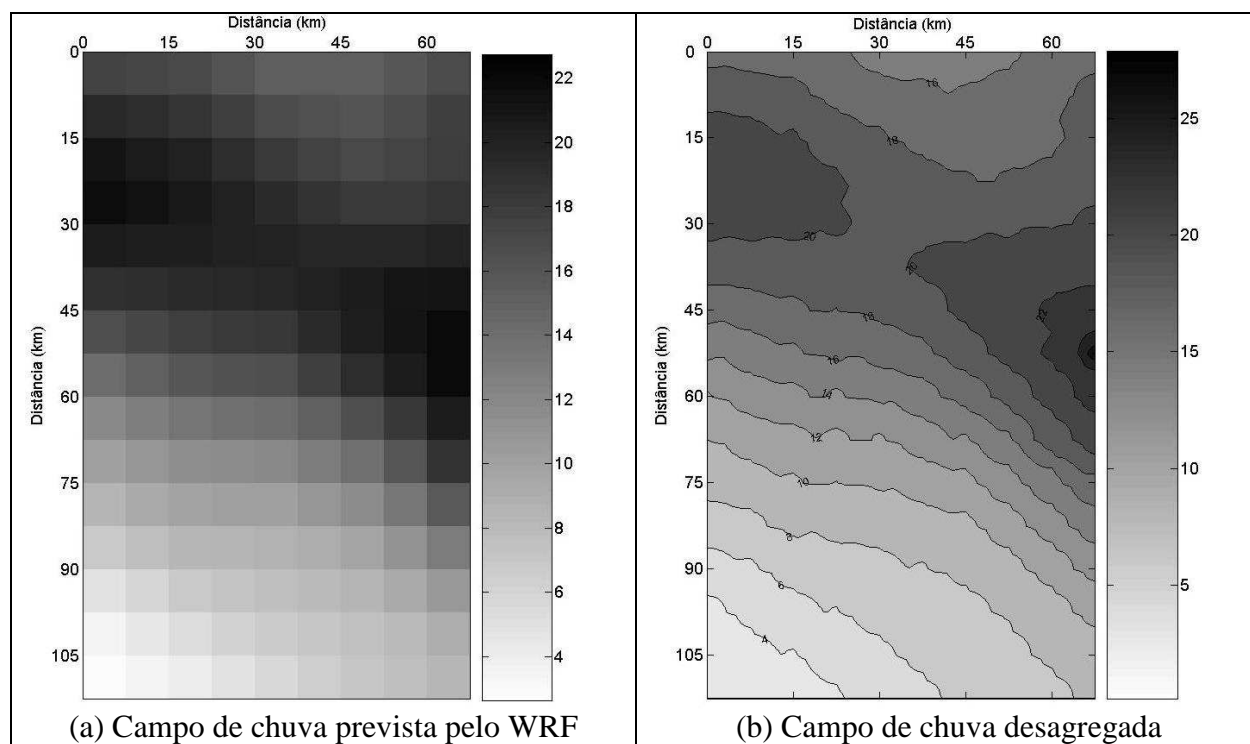


FIGURA 33C – EVENTO DE CHUVA EM 11/06/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

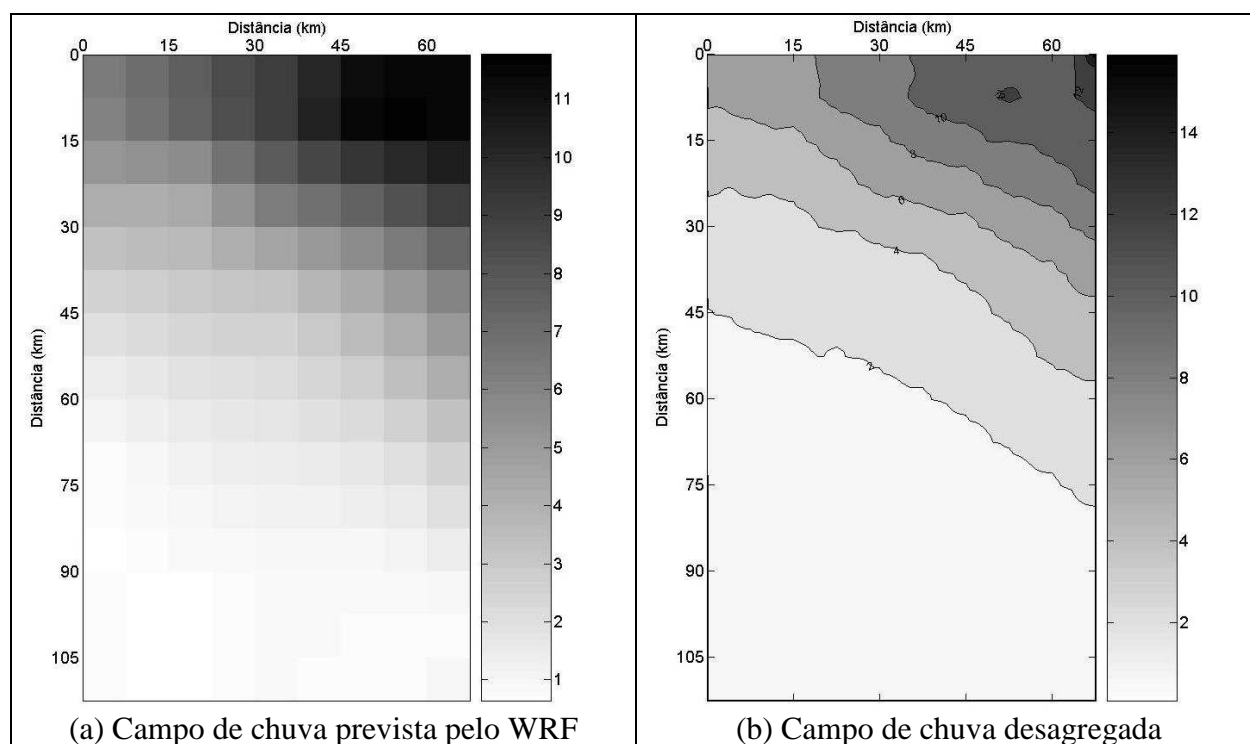


FIGURA 34C – EVENTO DE CHUVA EM 10/07/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

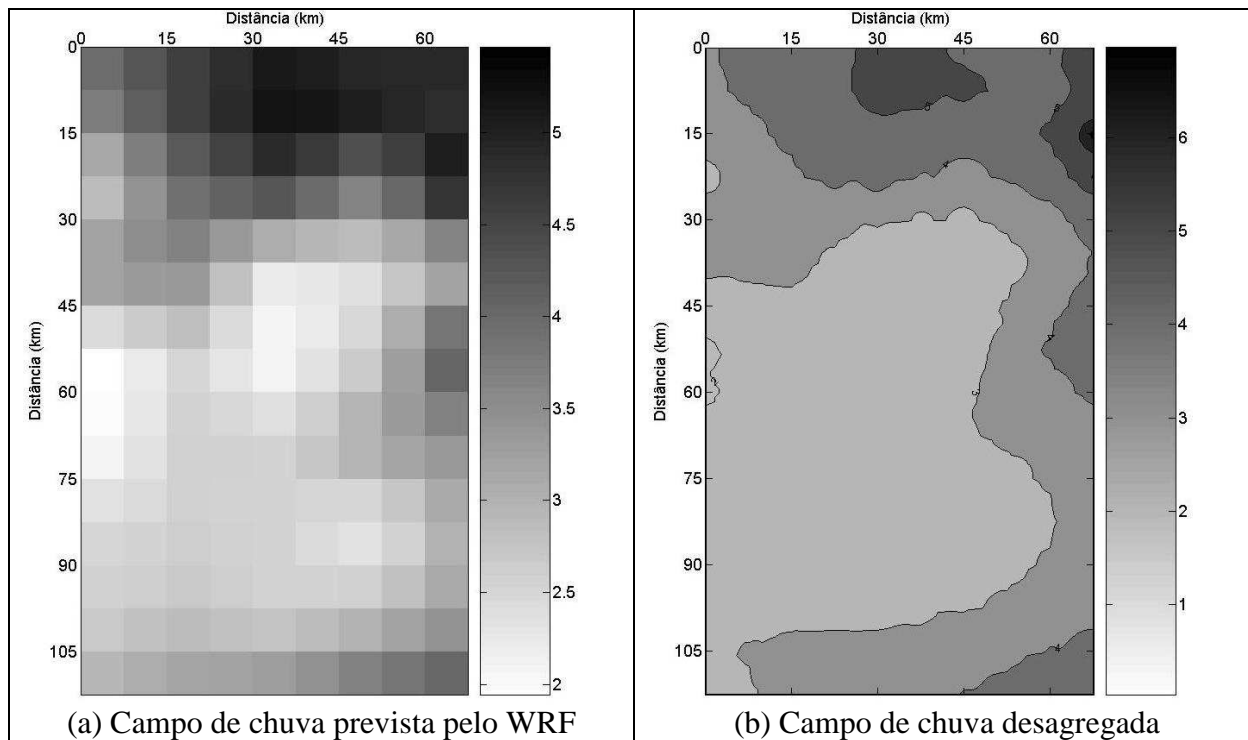


FIGURA 35C – EVENTO DE CHUVA EM 10/07/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

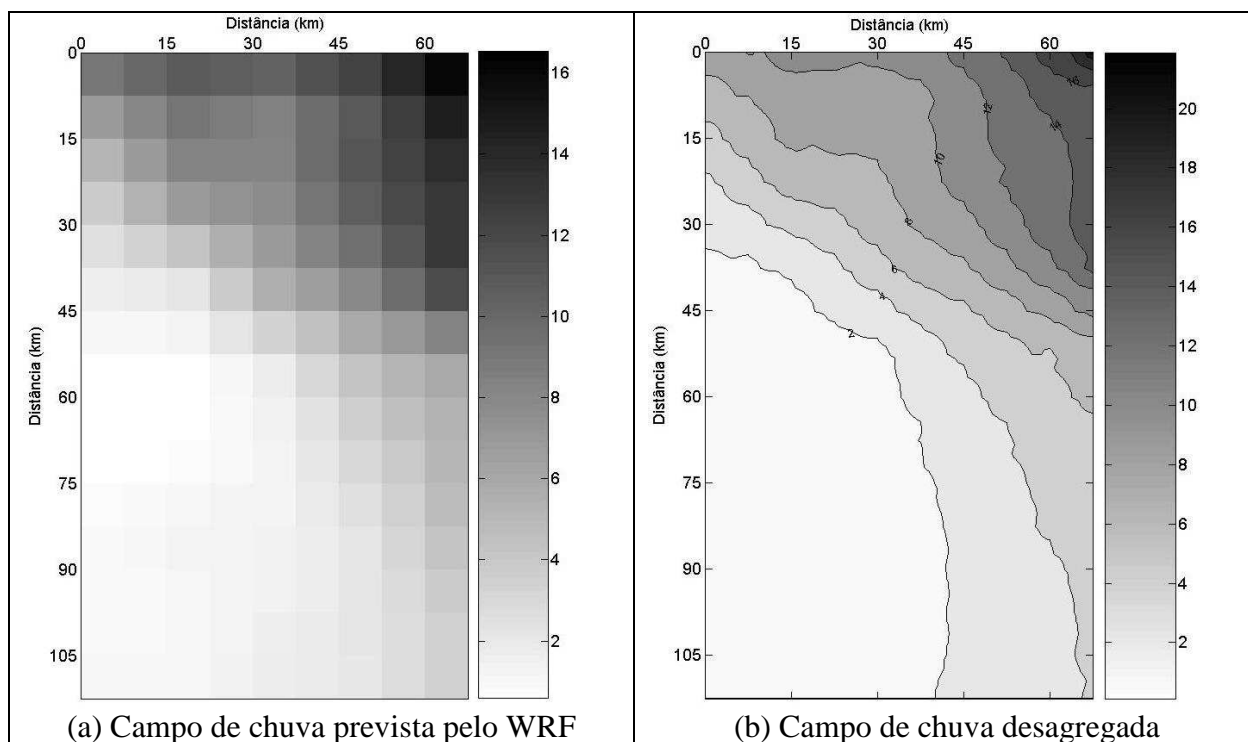


FIGURA 36C – EVENTO DE CHUVA EM 17/08/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

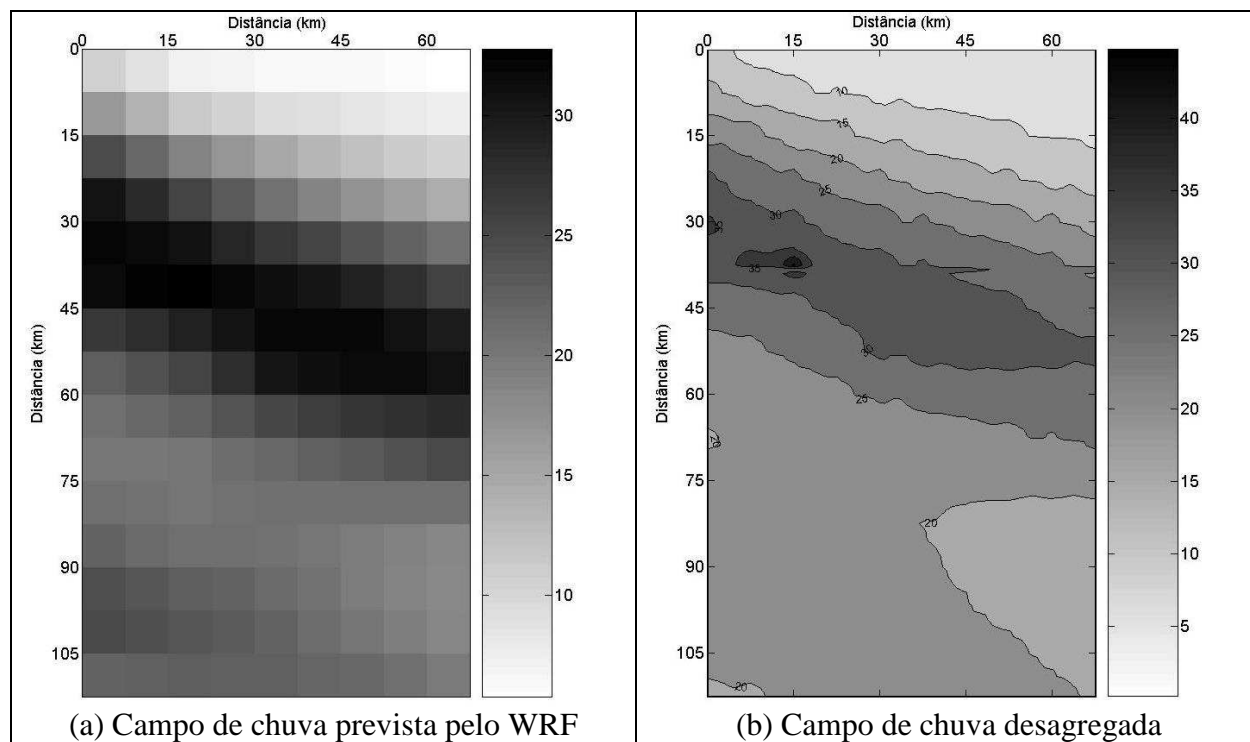


FIGURA 37C – EVENTO DE CHUVA EM 17/08/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

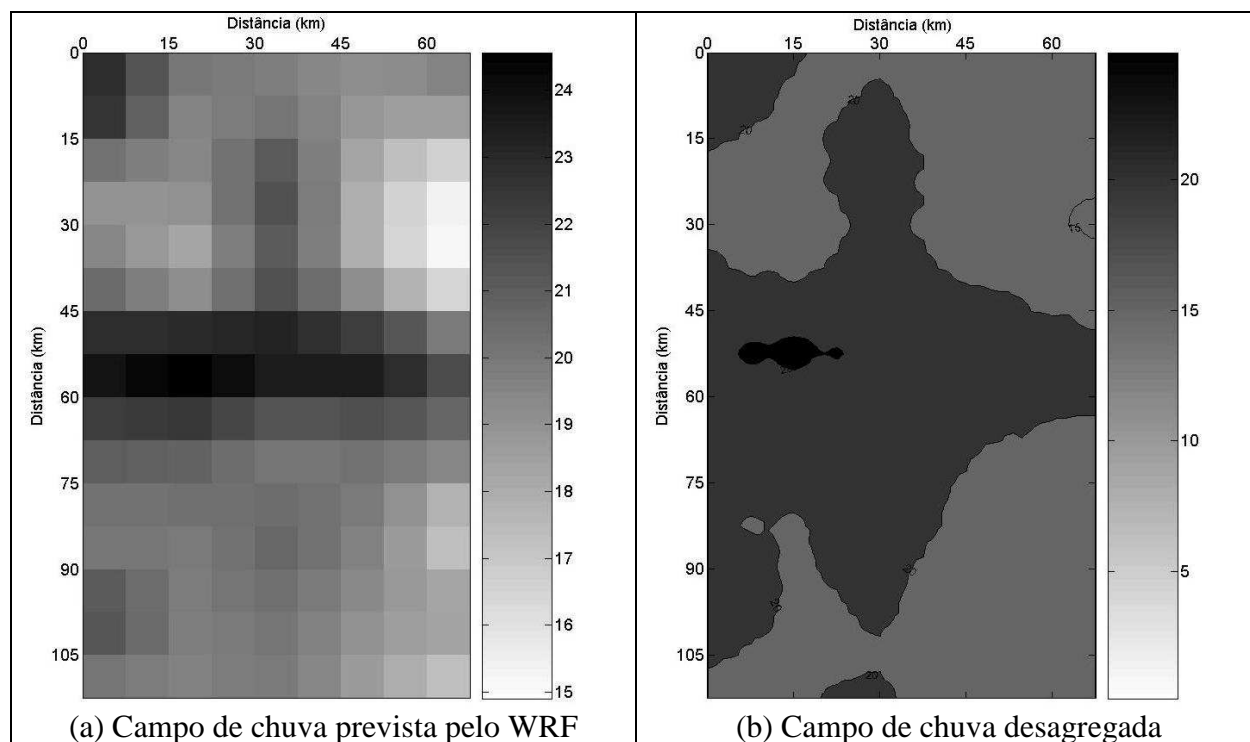


FIGURA 38C – EVENTO DE CHUVA EM 01/09/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

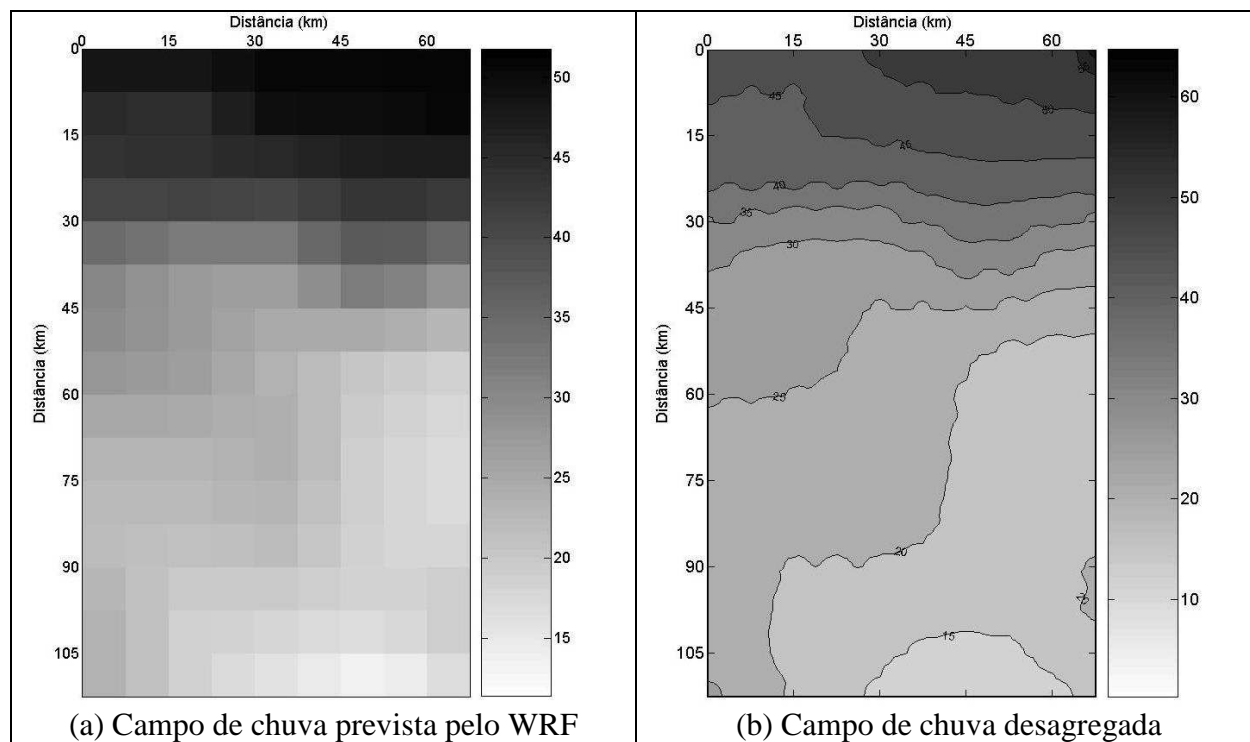


FIGURA 39C – EVENTO DE CHUVA EM 01/09/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

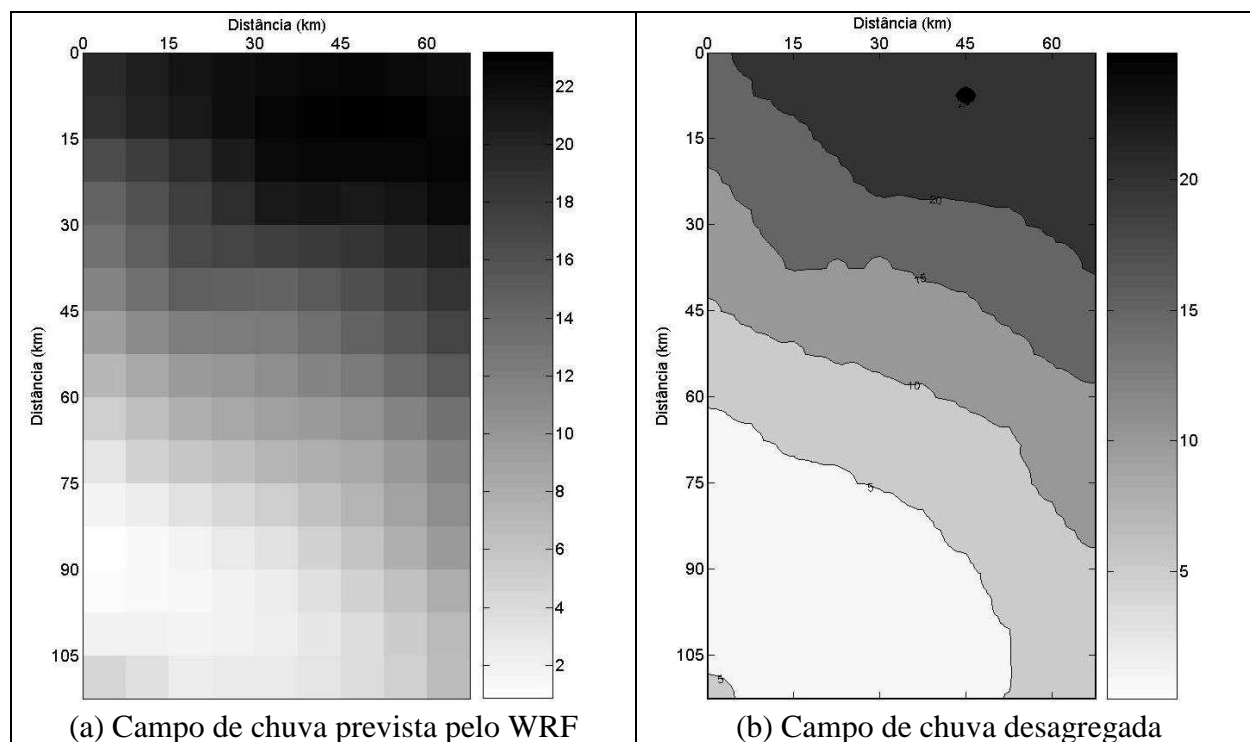


FIGURA 40C – EVENTO DE CHUVA EM 17/09/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 HORAS

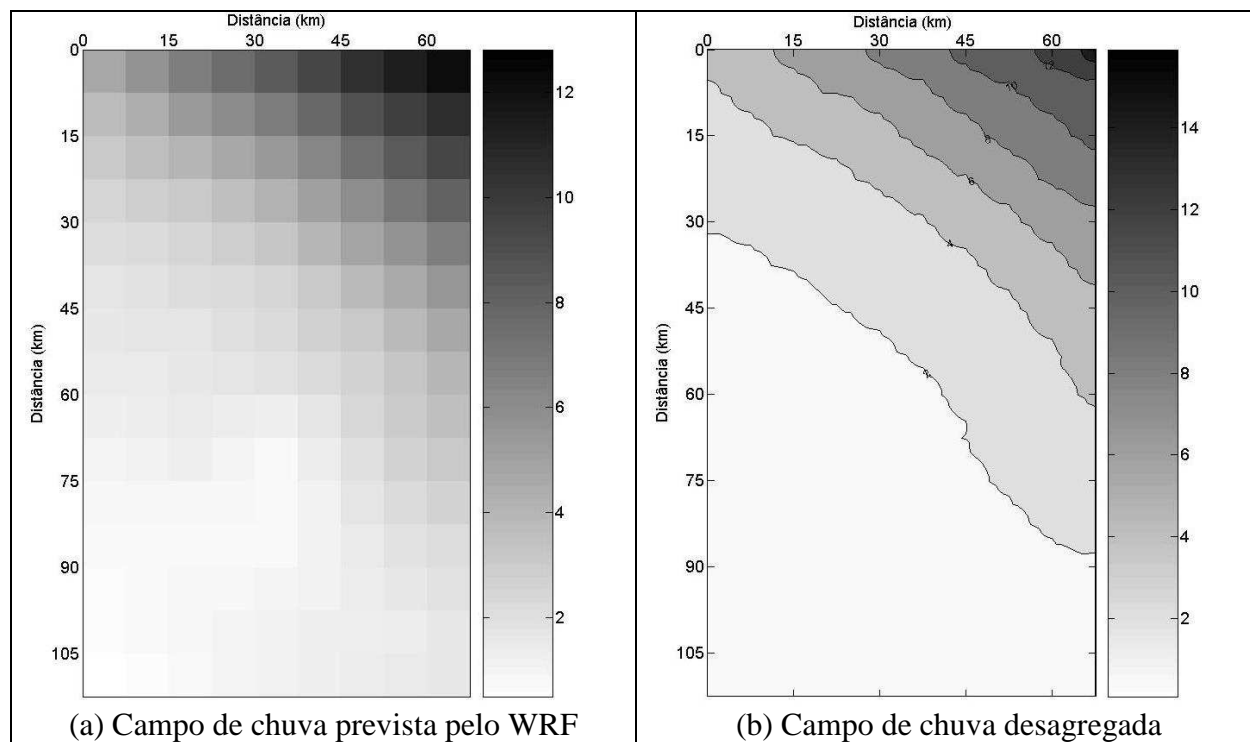


FIGURA 41C – EVENTO DE CHUVA EM 17/09/2006 COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 48 HORAS

APÊNDICE D – GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO ESPACIAL

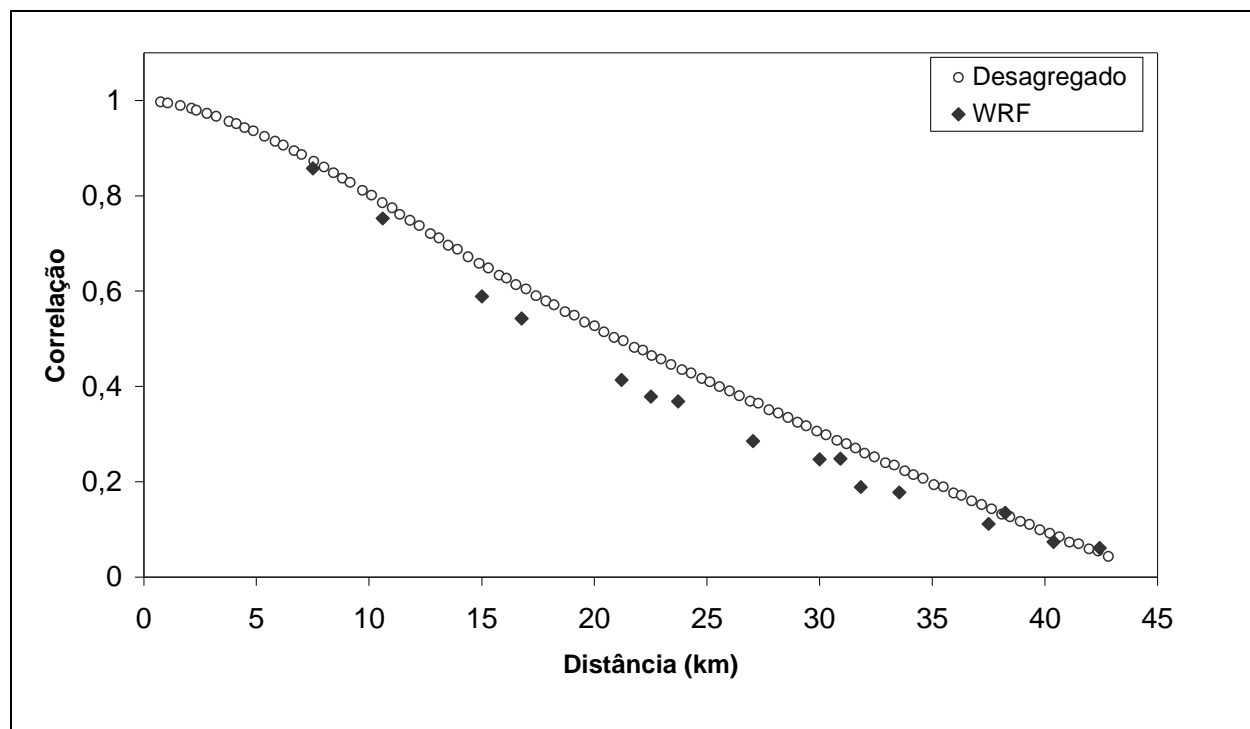


FIGURA 1D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 01/10/2005 – HP=48 horas

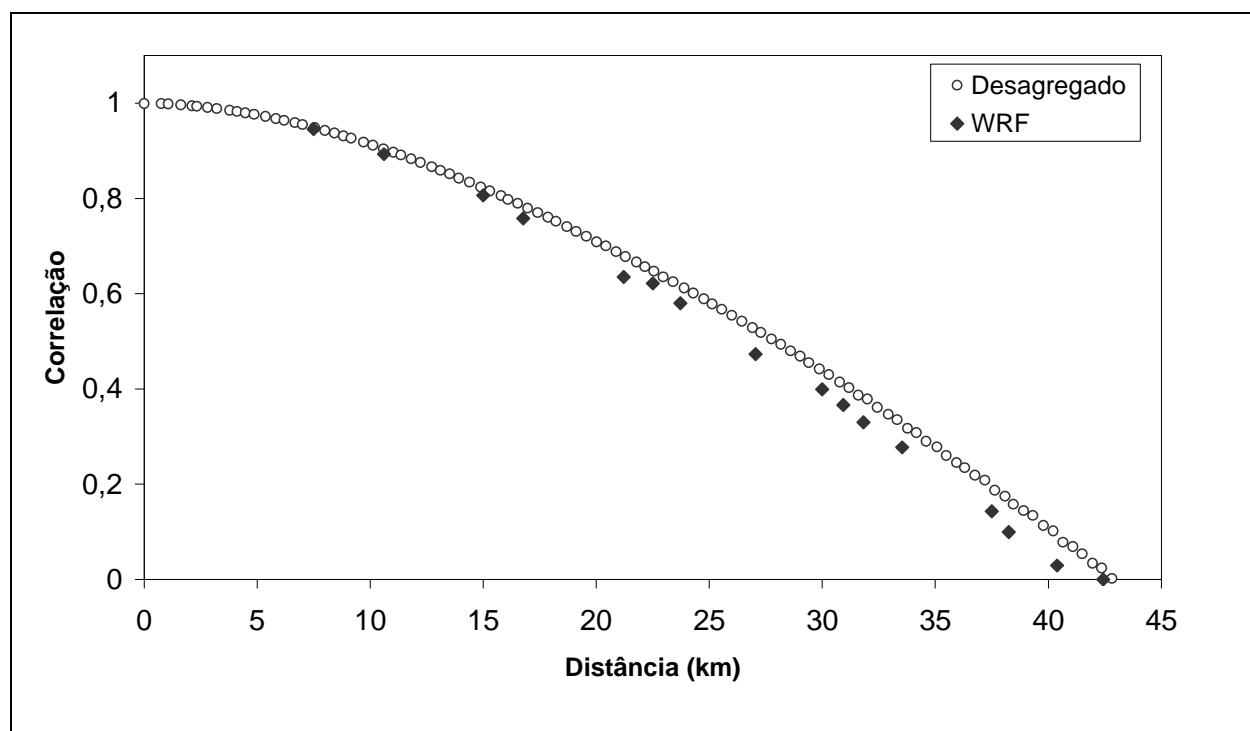


FIGURA 2D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 17/10/2005 – HP=24 horas

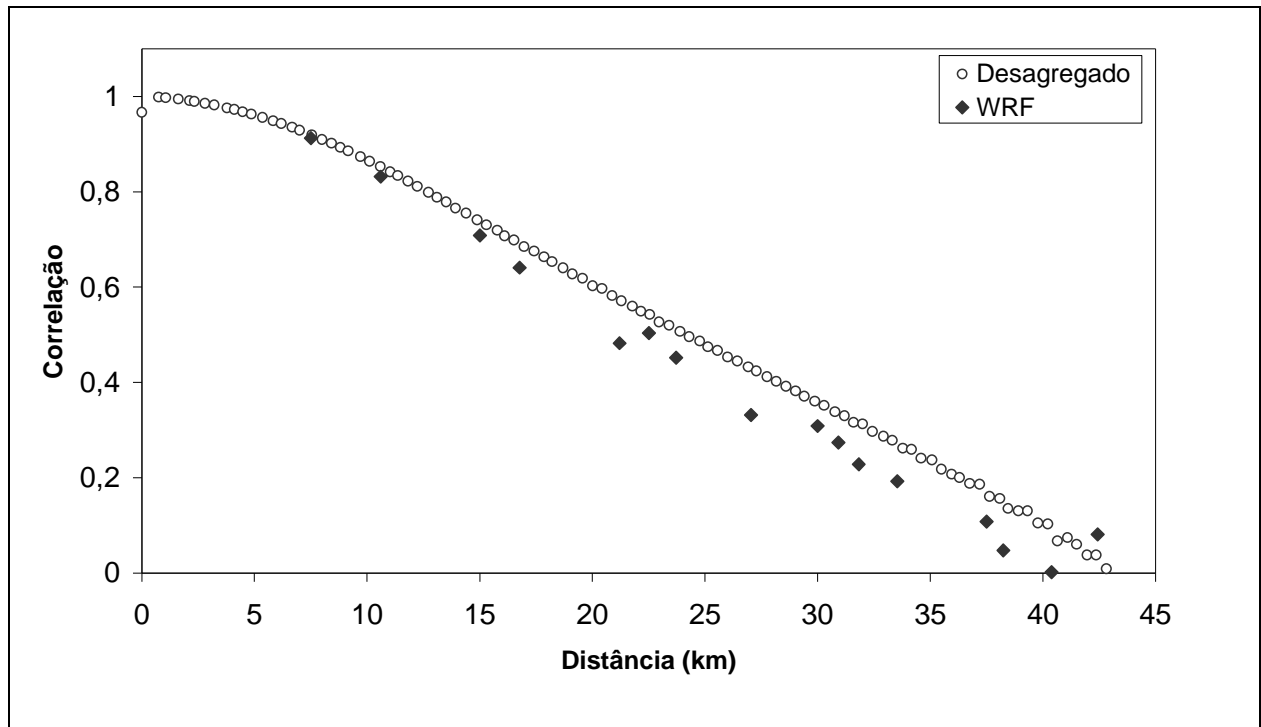


FIGURA 3D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 17/10/2005 – HP=48 horas

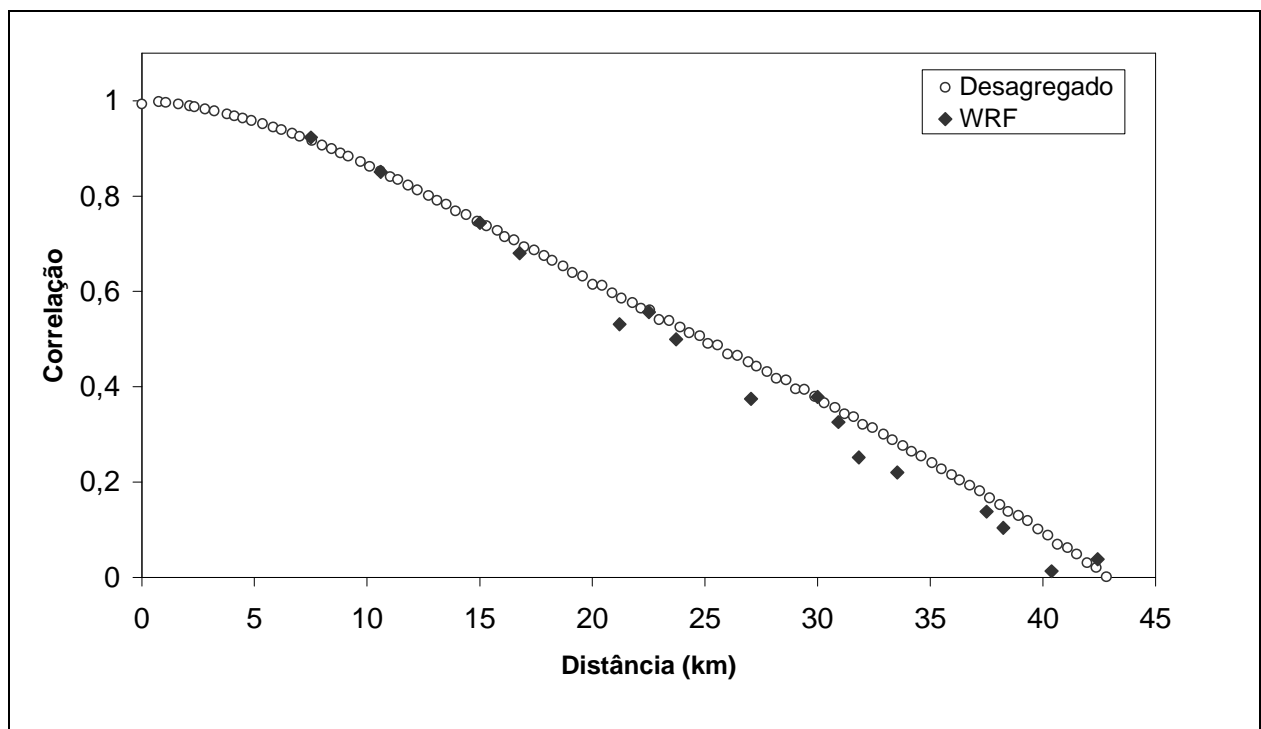


FIGURA 4D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 29/10/2005 – HP=48 horas

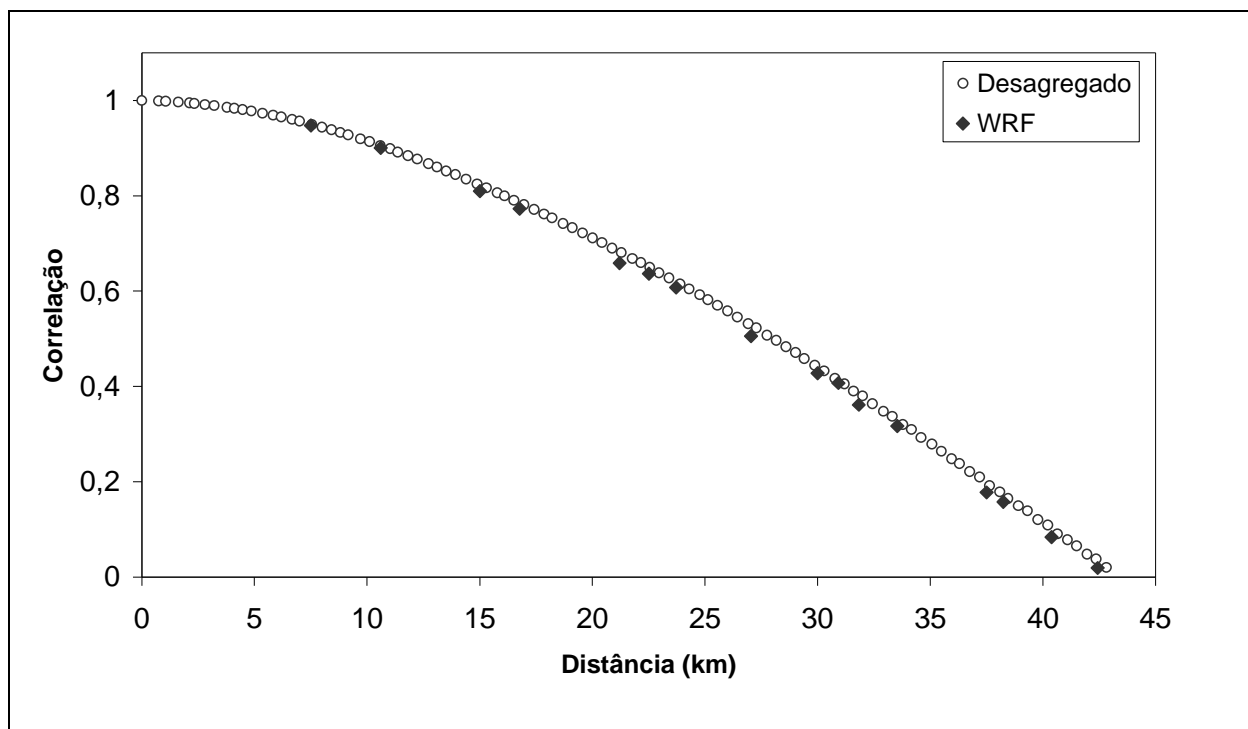


FIGURA 5D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 07/11/2005 – HP=24 horas

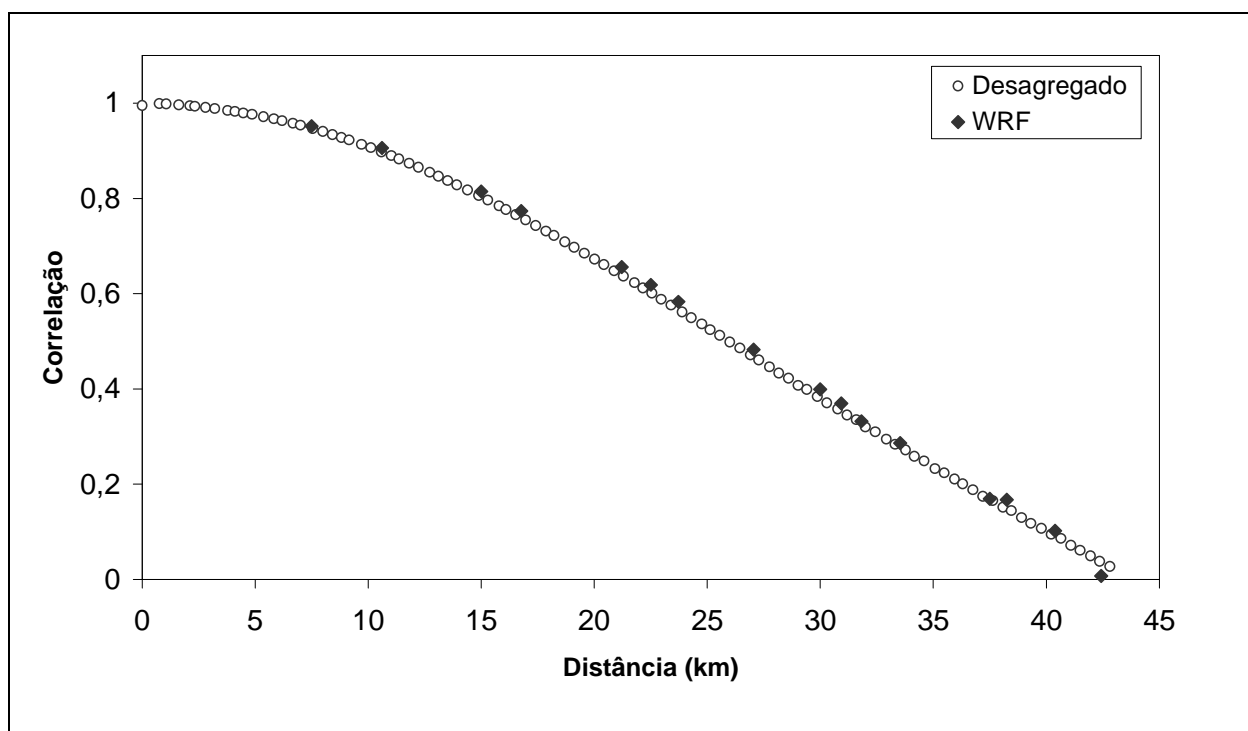


FIGURA 6D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 07/11/2005 – HP=48 horas

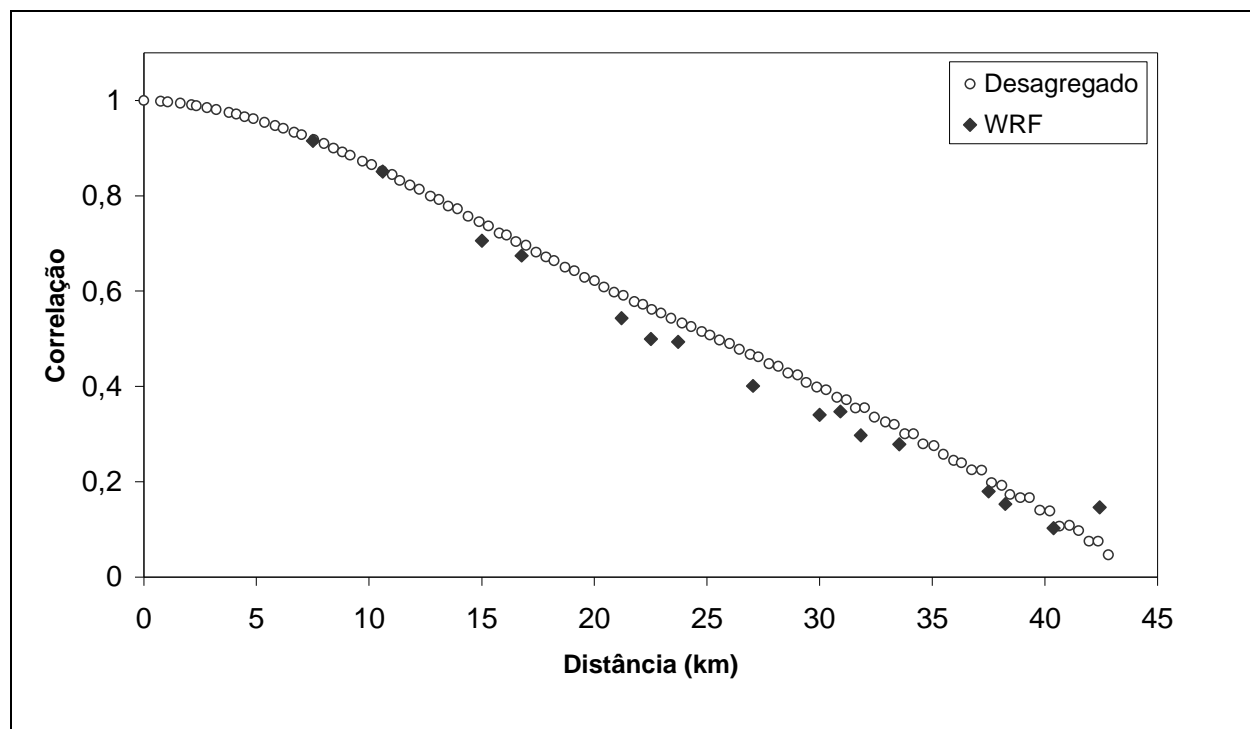


FIGURA 7D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 18/11/2005 – HP=24 horas

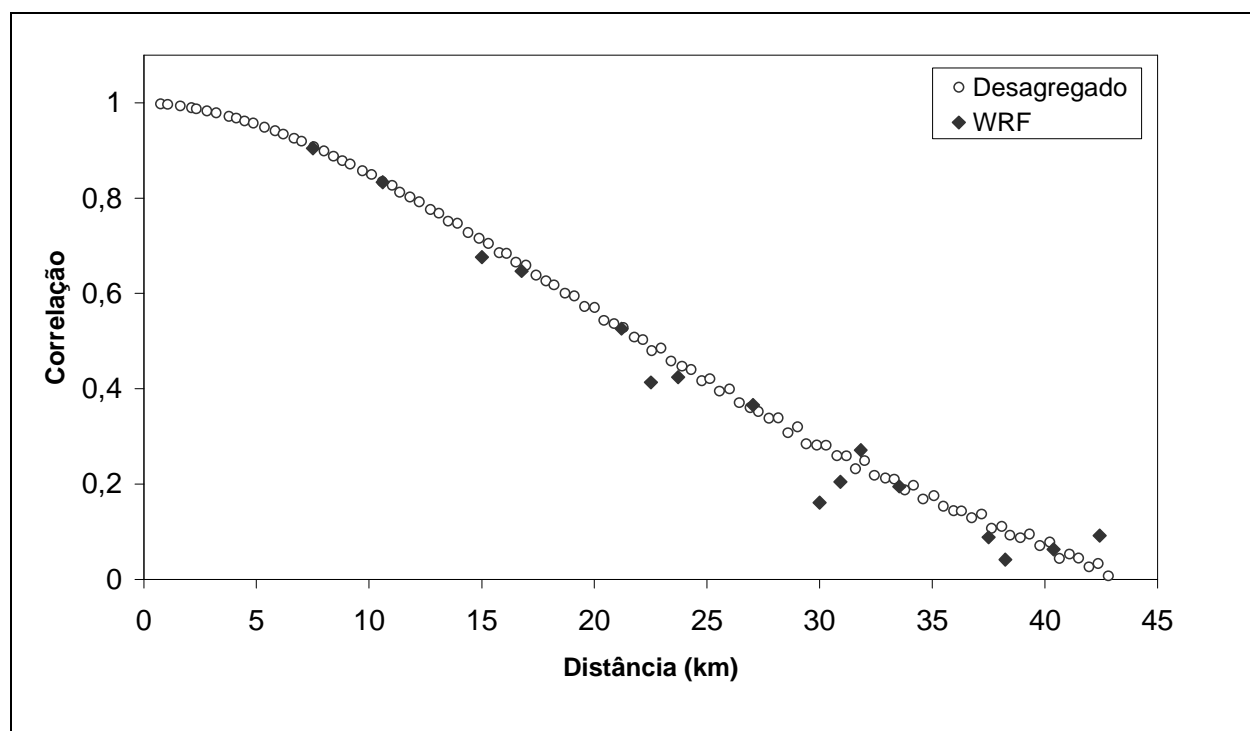


FIGURA 8D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 18/11/2005 – HP=48 horas

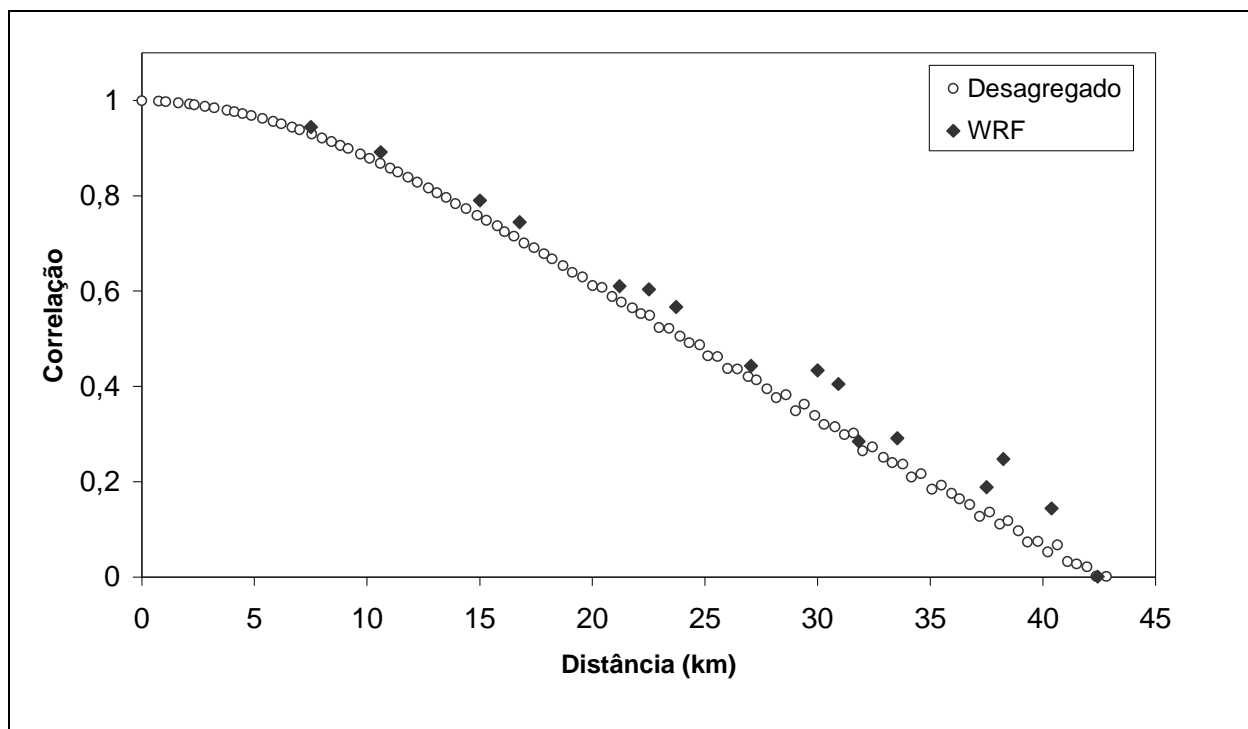


FIGURA 9D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 06/12/2005 – HP=24 horas

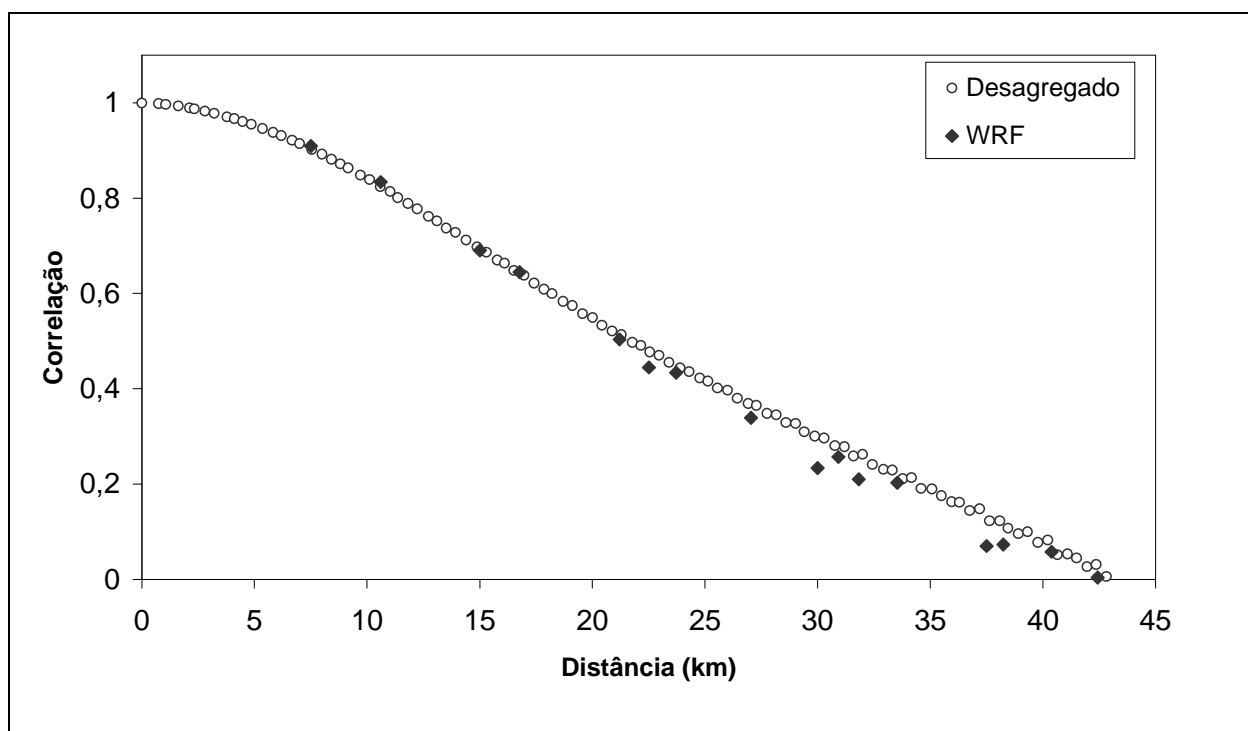


FIGURA 10D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 06/12/2005 – HP=48 horas

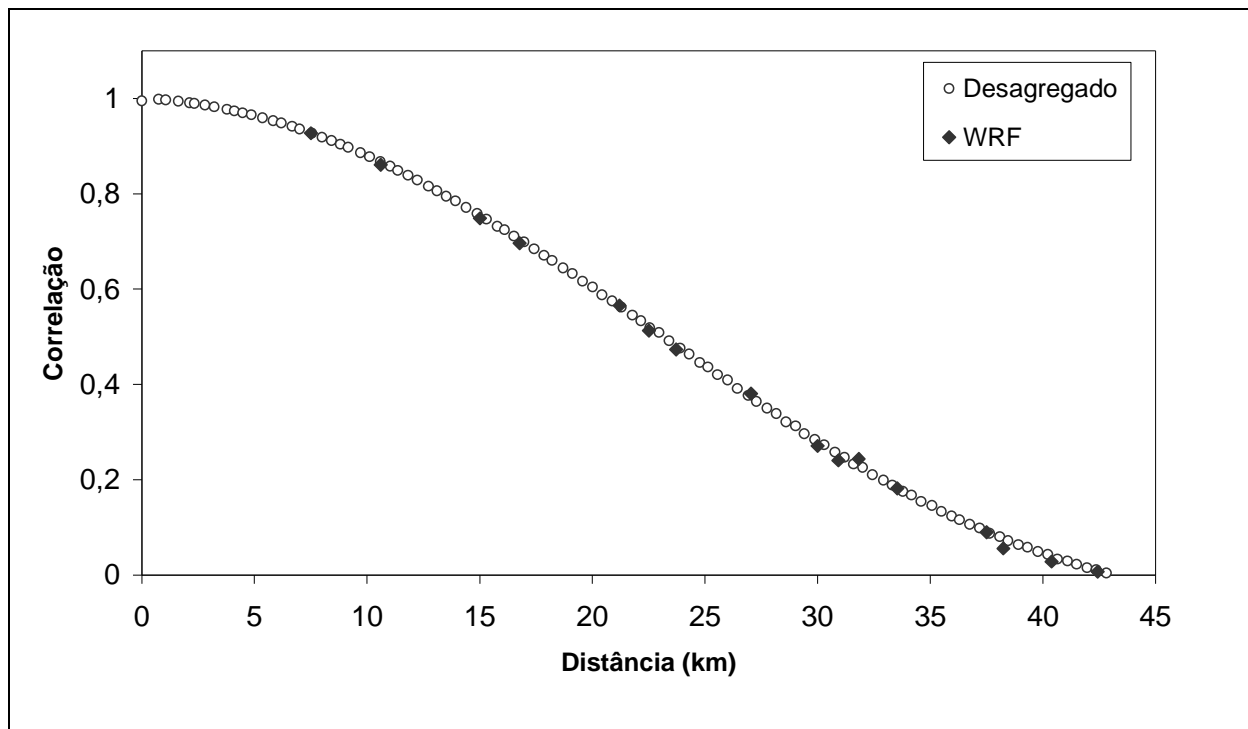


FIGURA 11D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 17/12/2005 – HP=48 horas

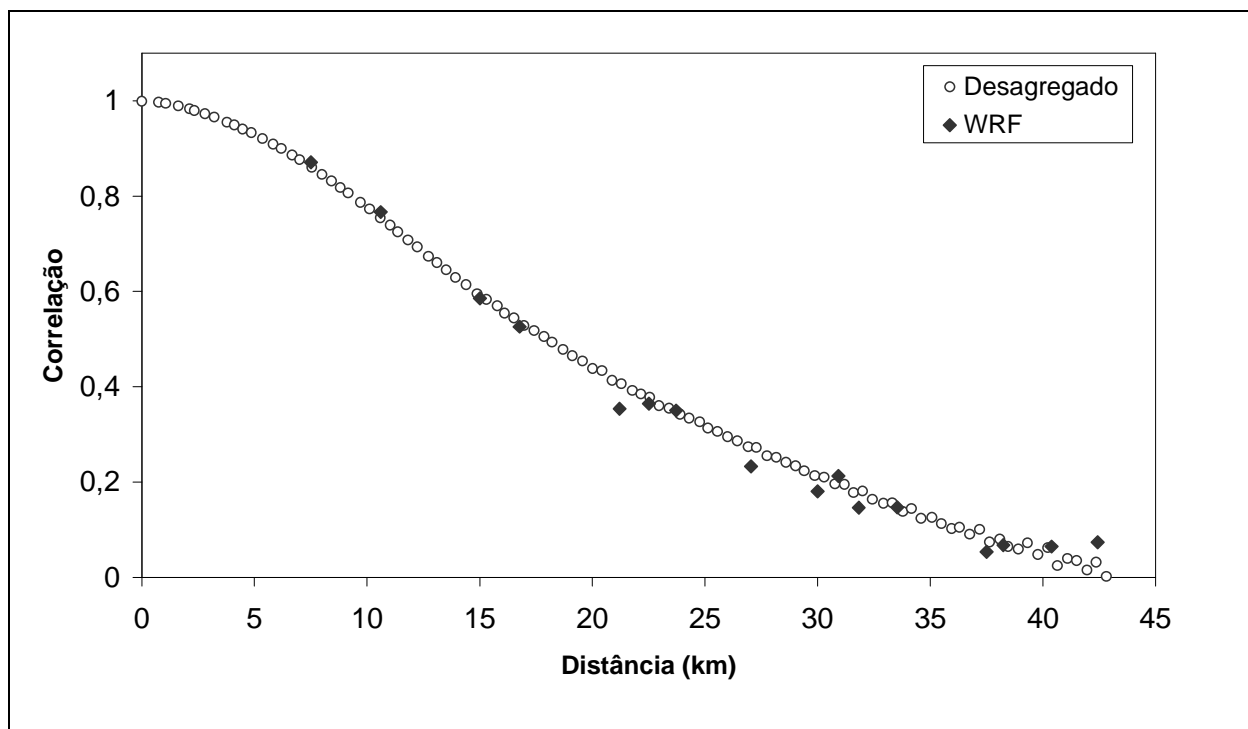


FIGURA 12D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 04/01/2006 – HP=24 horas

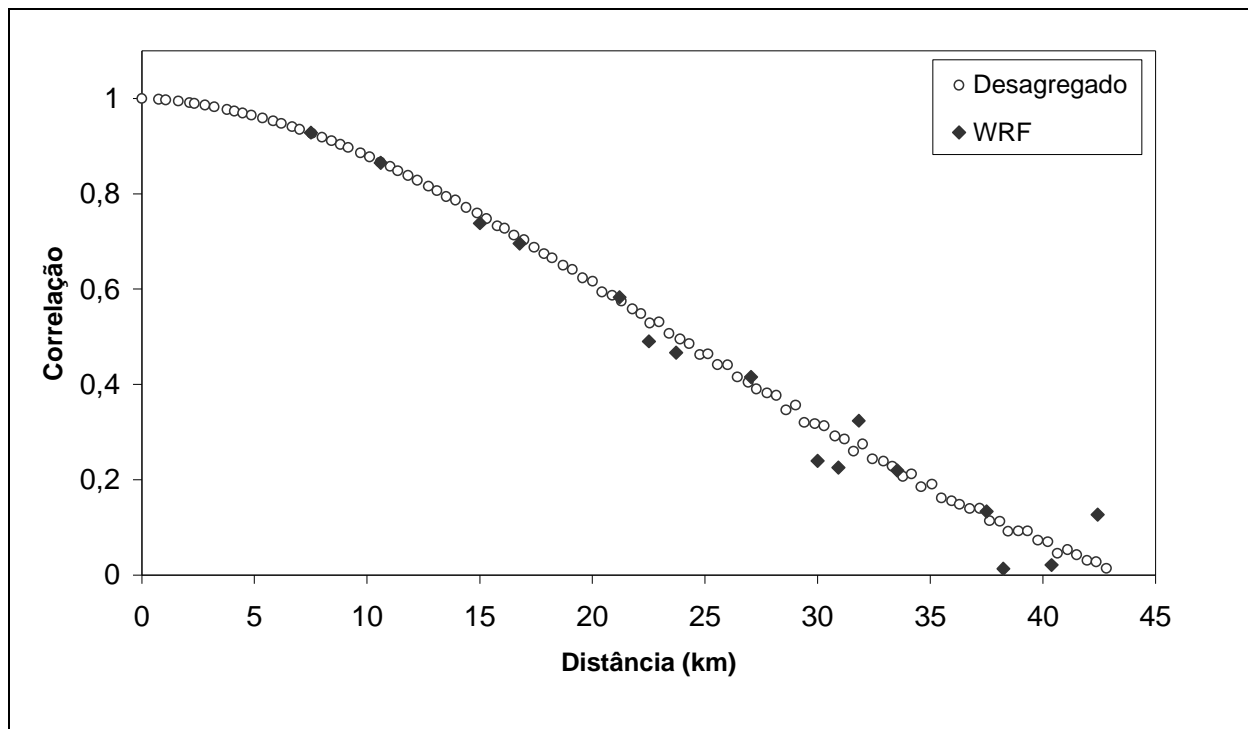


FIGURA 13D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 04/01/2006 – HP=48 horas

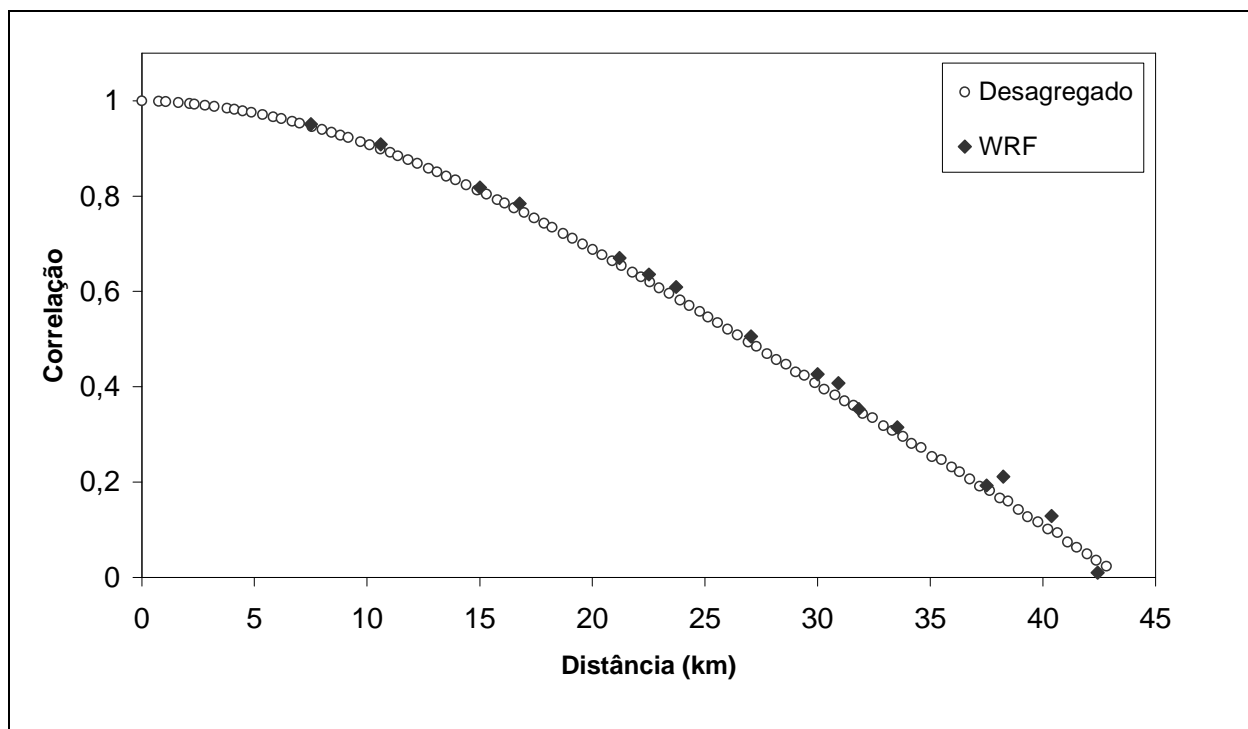


FIGURA 14D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 18/01/2006 – HP=24 horas

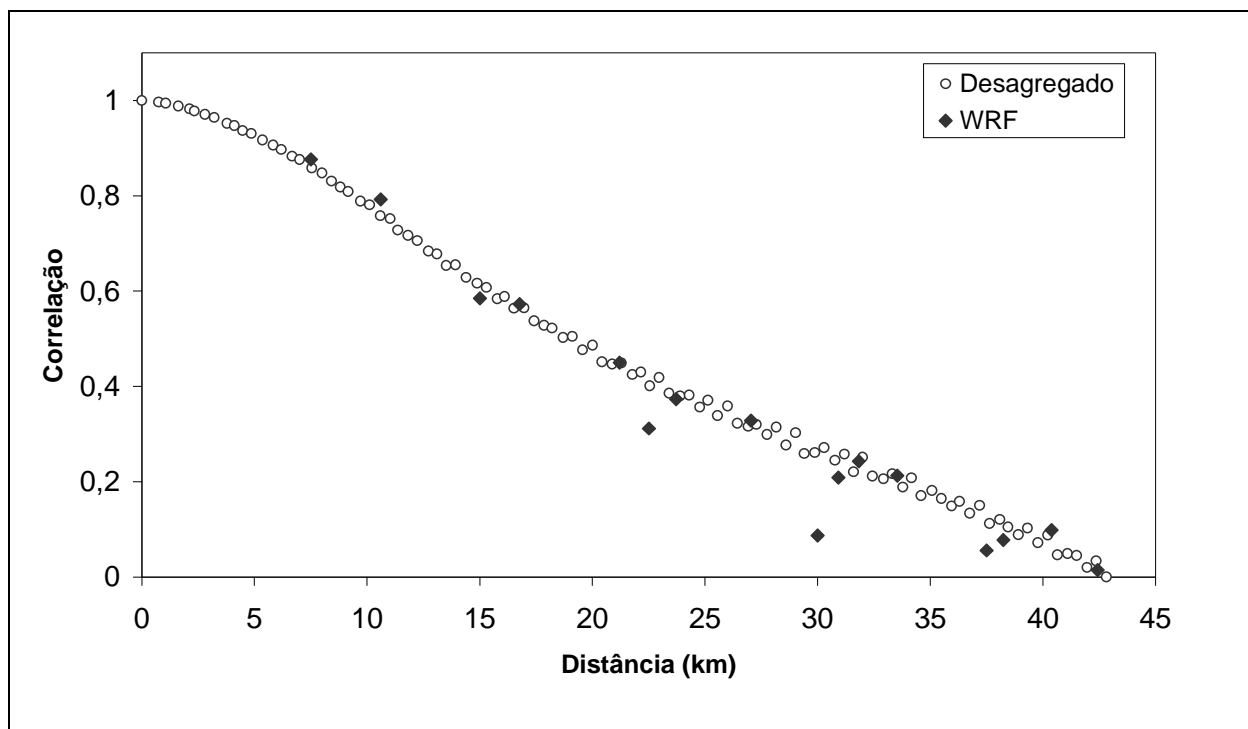


FIGURA 15D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 18/01/2006 – HP=48 horas

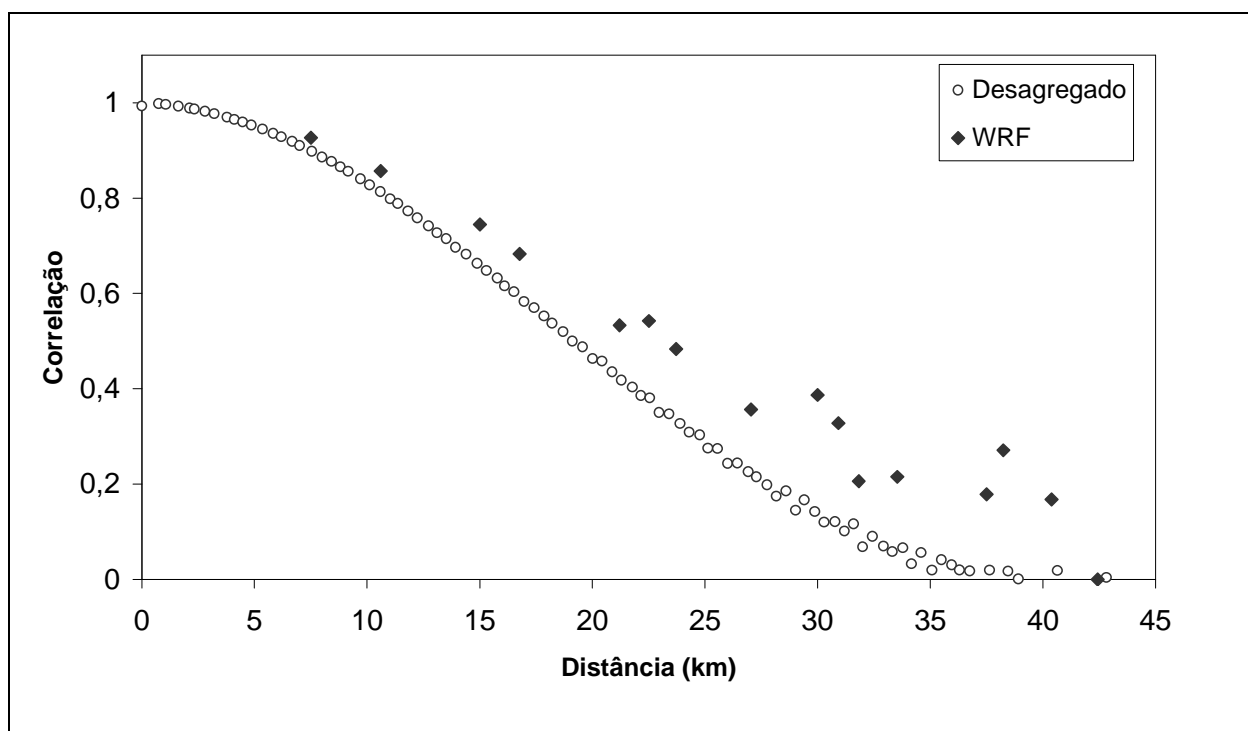


FIGURA 16D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 22/01/2006 – HP=48 horas

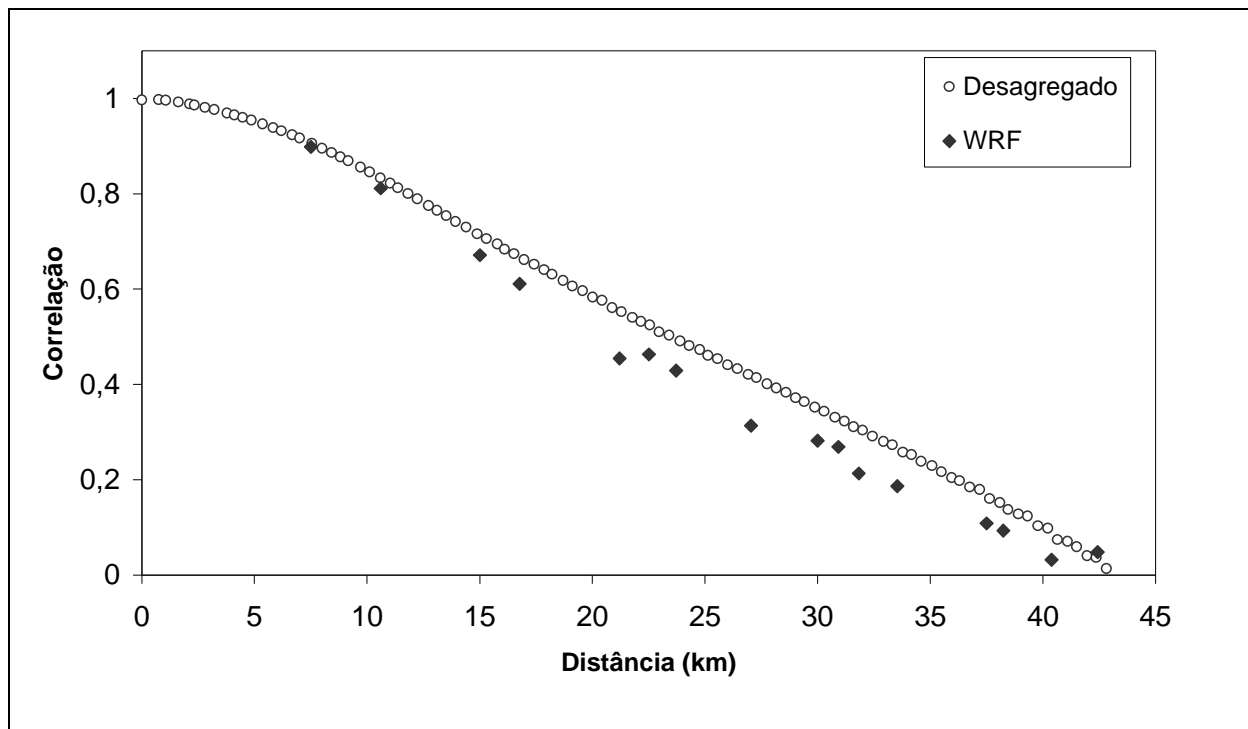


FIGURA 17D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 05/02/2006 – HP=24 horas

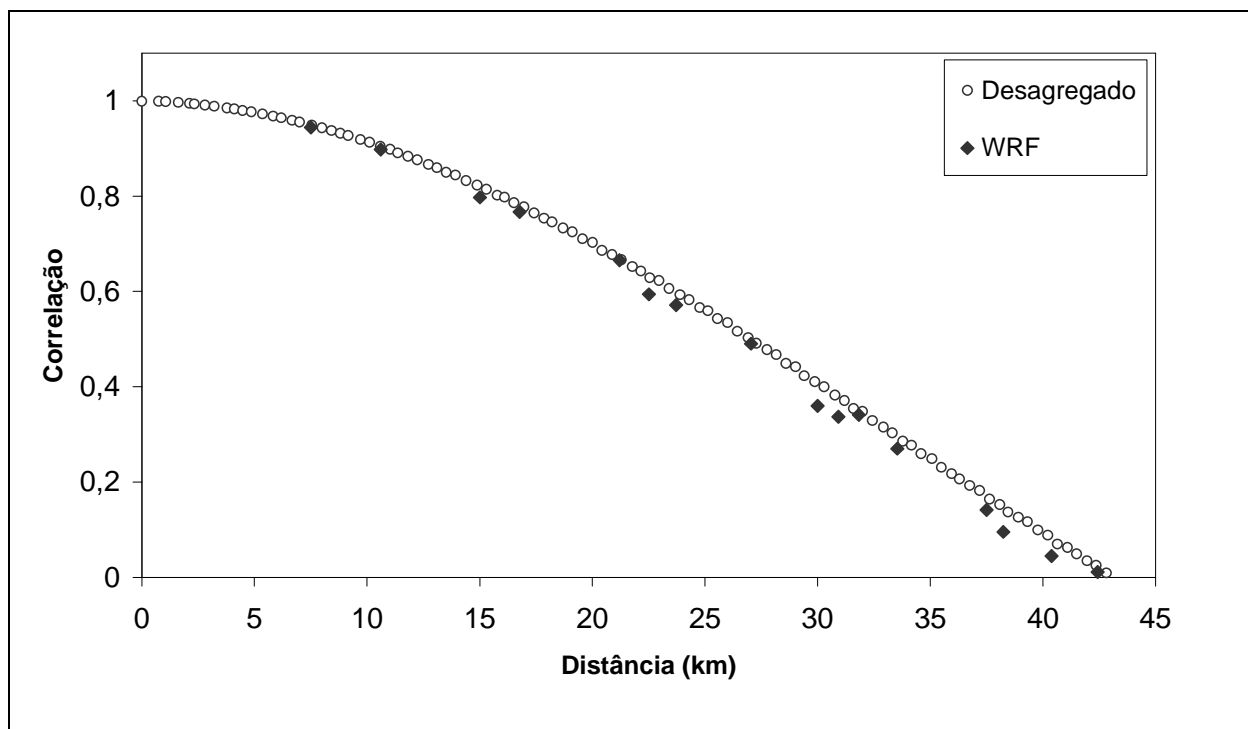


FIGURA 18D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 05/02/2006 – HP=48 horas

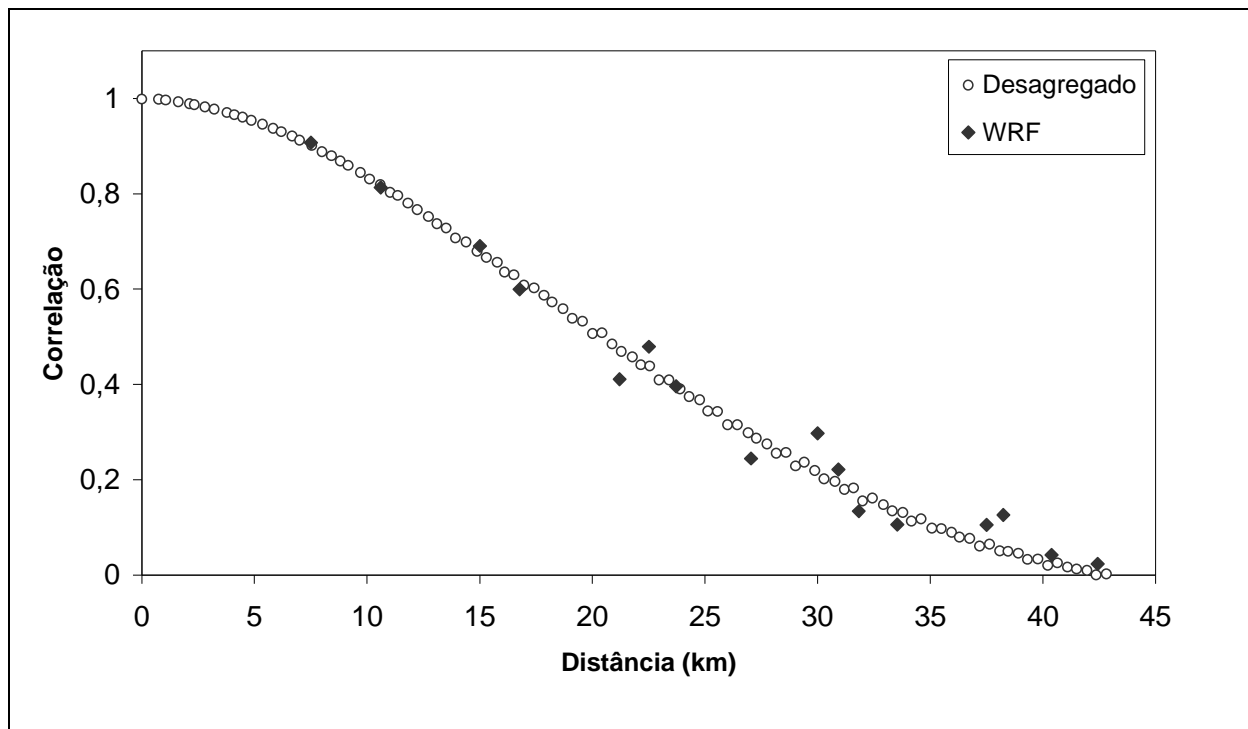


FIGURA 19D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 20/02/2006 – HP=24 horas

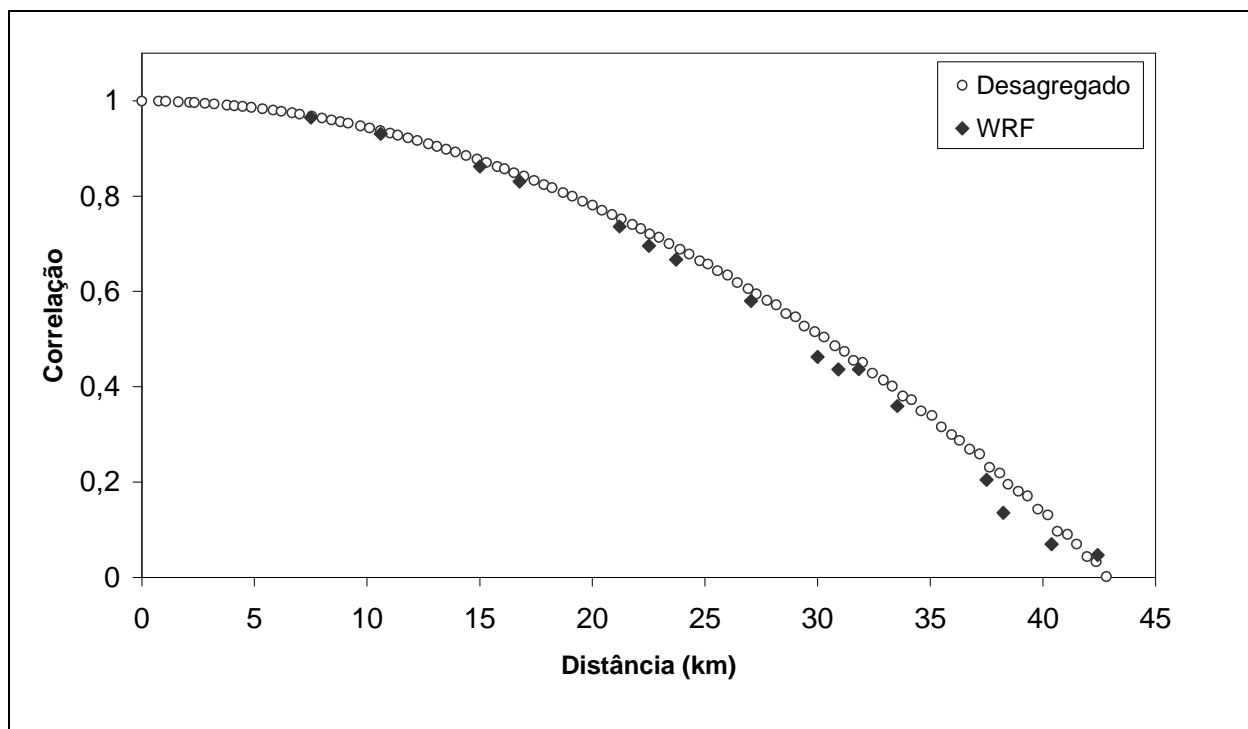


FIGURA 20D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 20/02/2006 – HP=48 horas

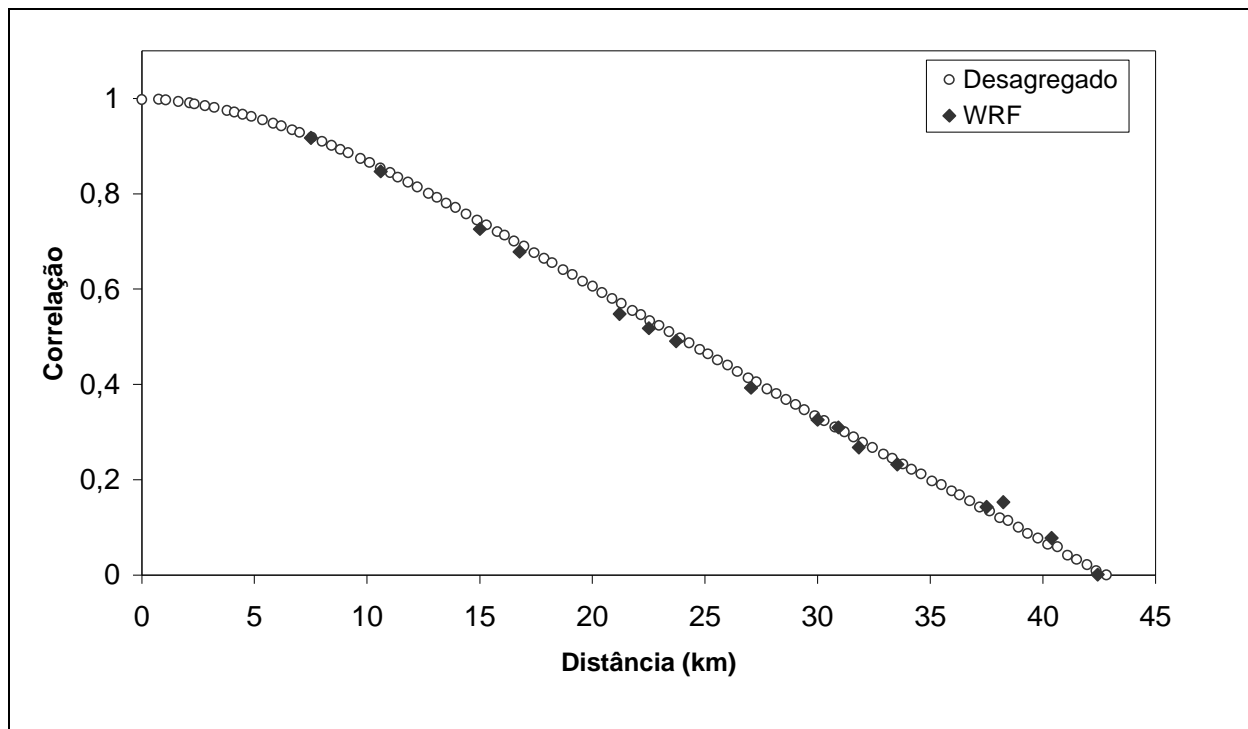


FIGURA 21D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 02/03/2006 – HP=24 horas

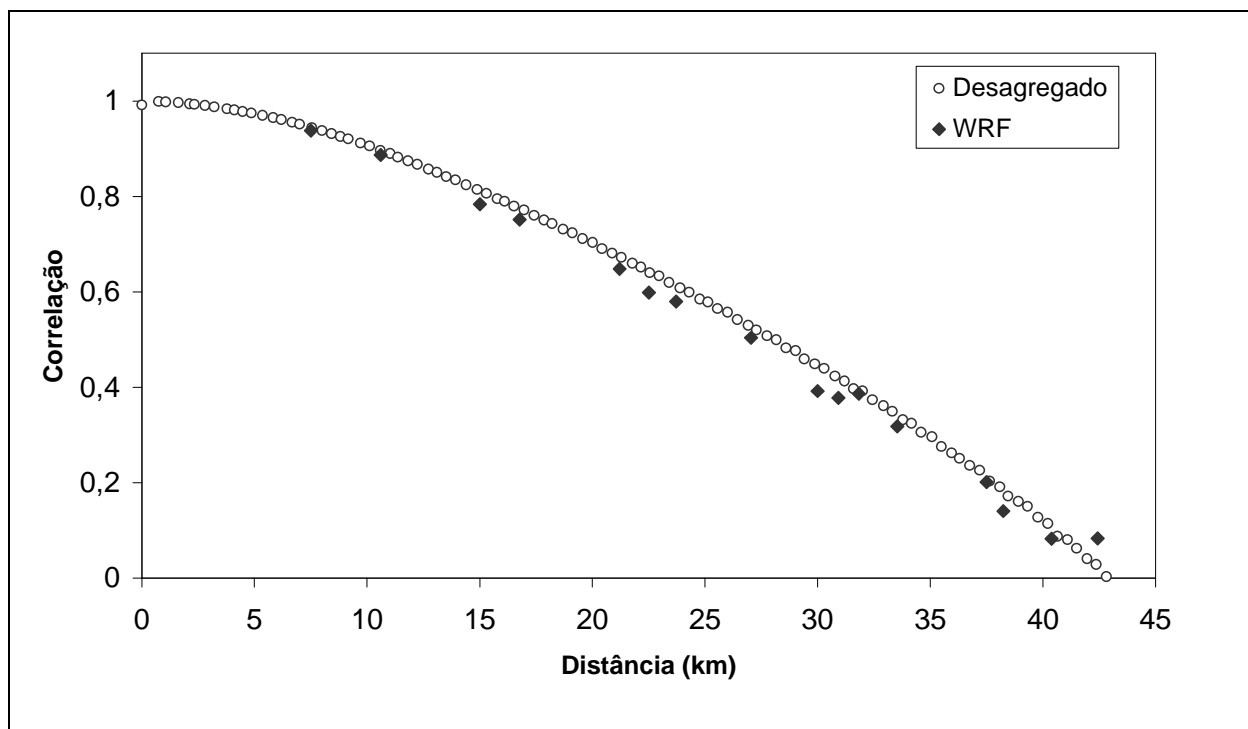


FIGURA 22D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 02/03/2006 – HP=48 horas

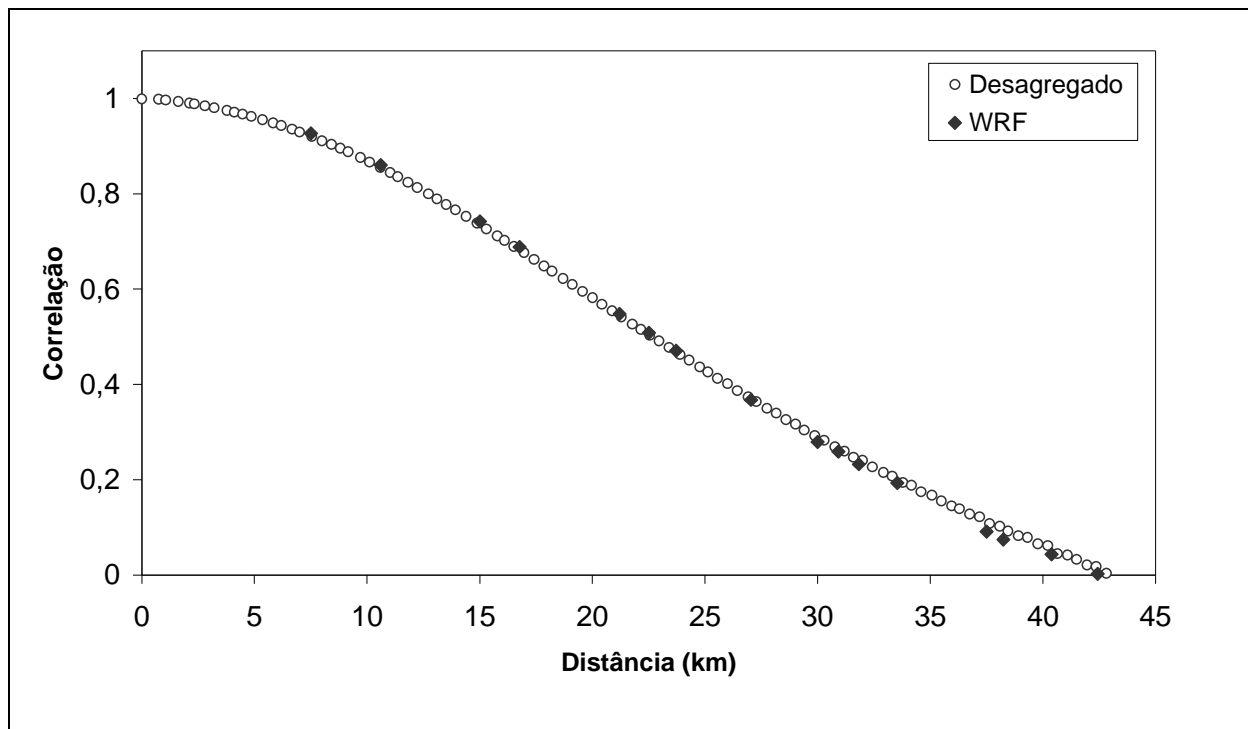


FIGURA 23D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 04/03/2006 – HP=24 horas

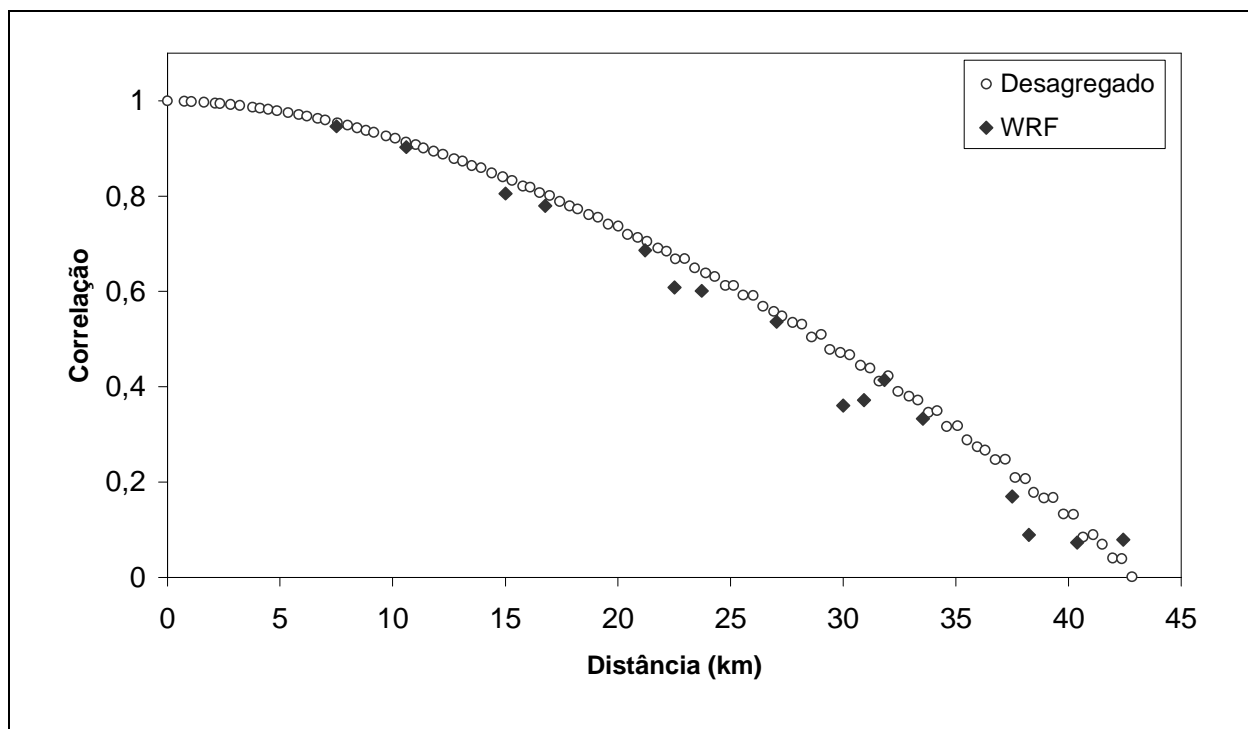


FIGURA 24D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 04/03/2006 – HP=48 horas

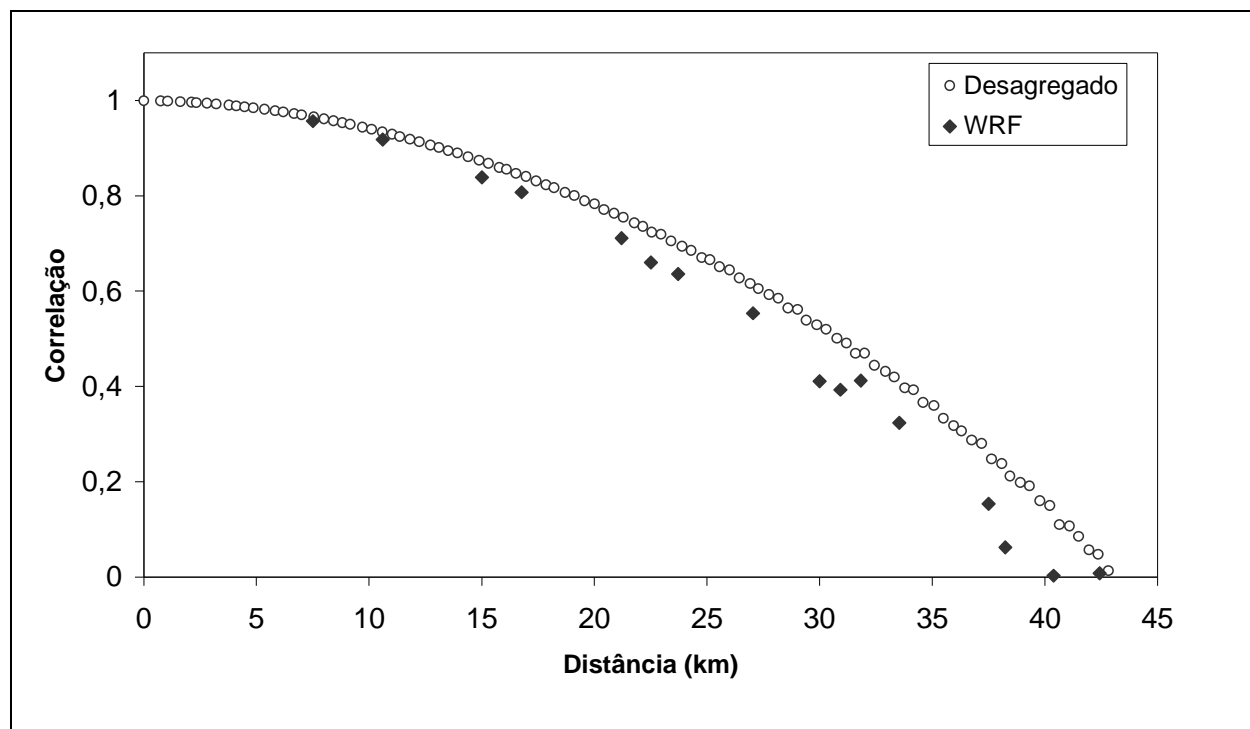


FIGURA 25D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 21/03/2006 – HP=24 horas

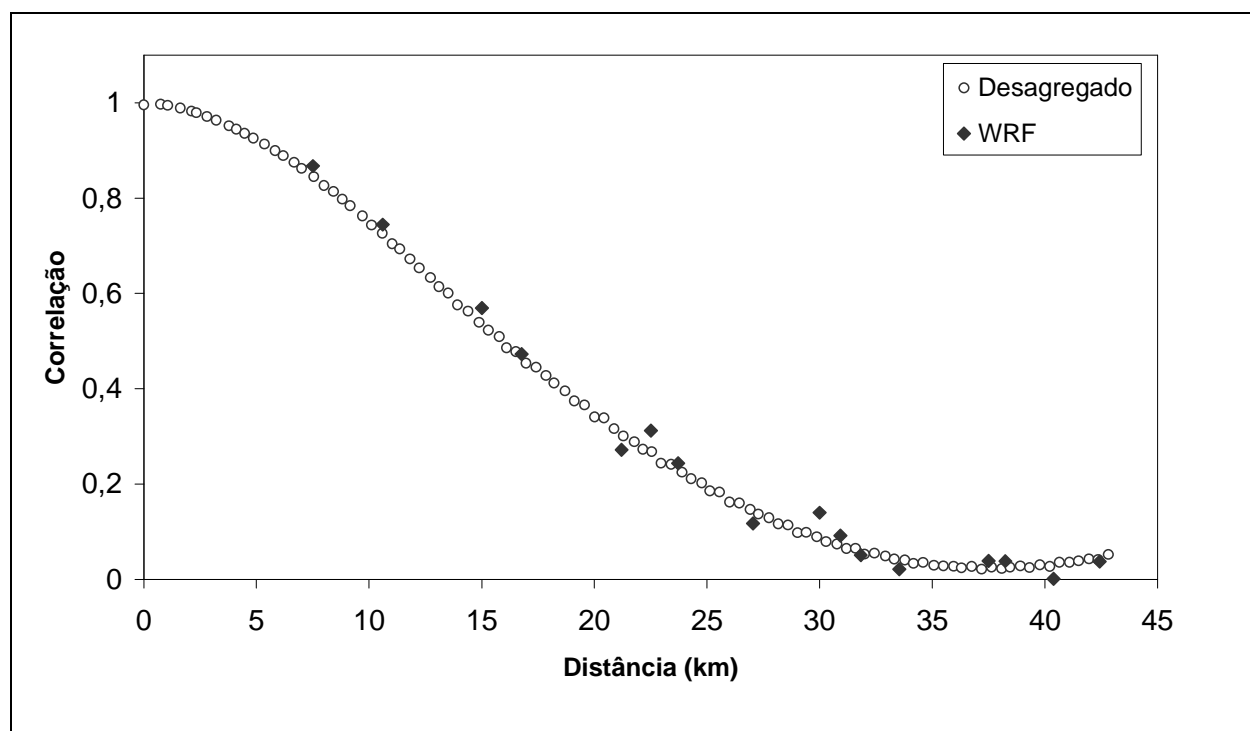


FIGURA 26D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 21/03/2006 – HP=48 horas

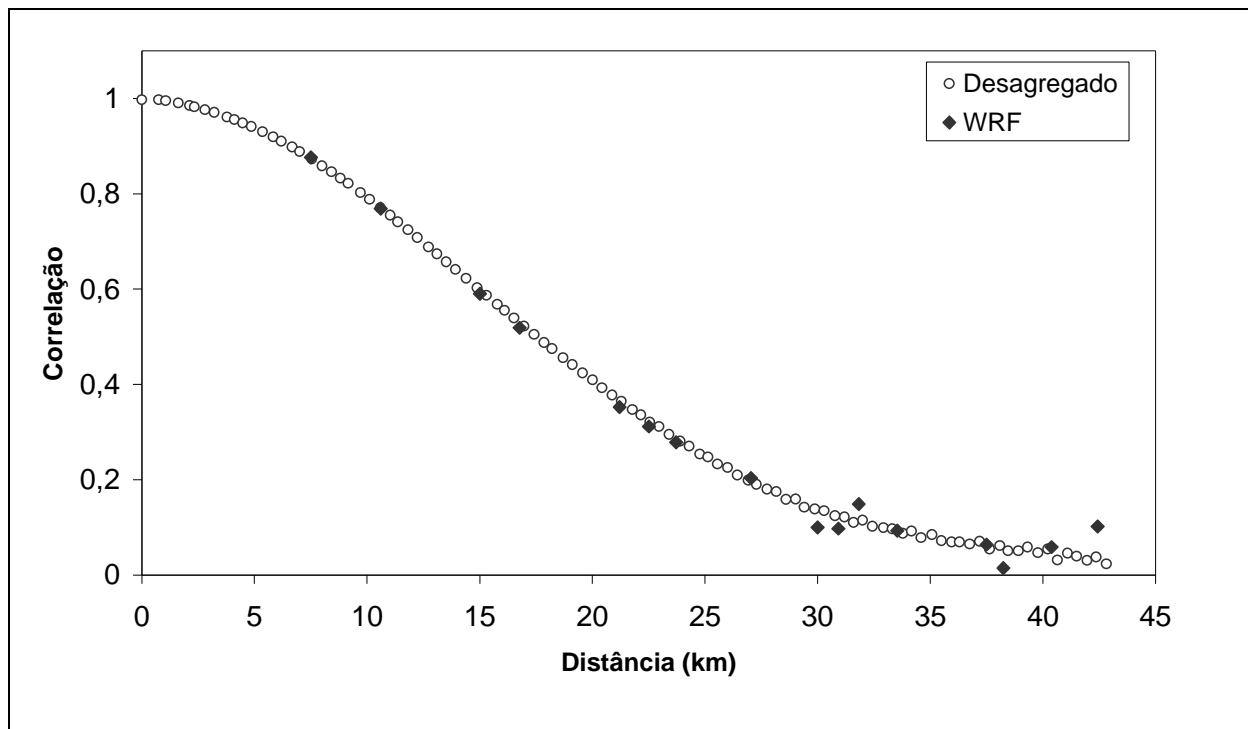


FIGURA 27D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 10/04/2006 – HP=24 horas

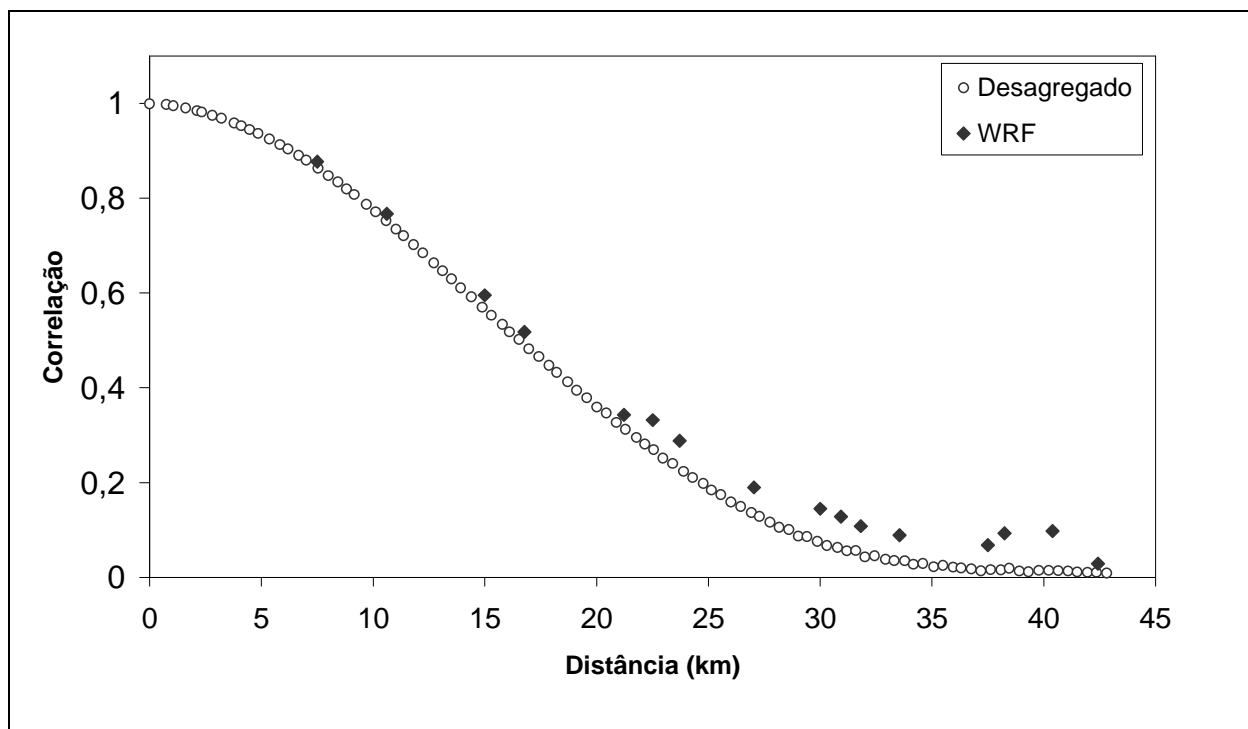


FIGURA 28D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 10/04/2006 – HP=48 horas

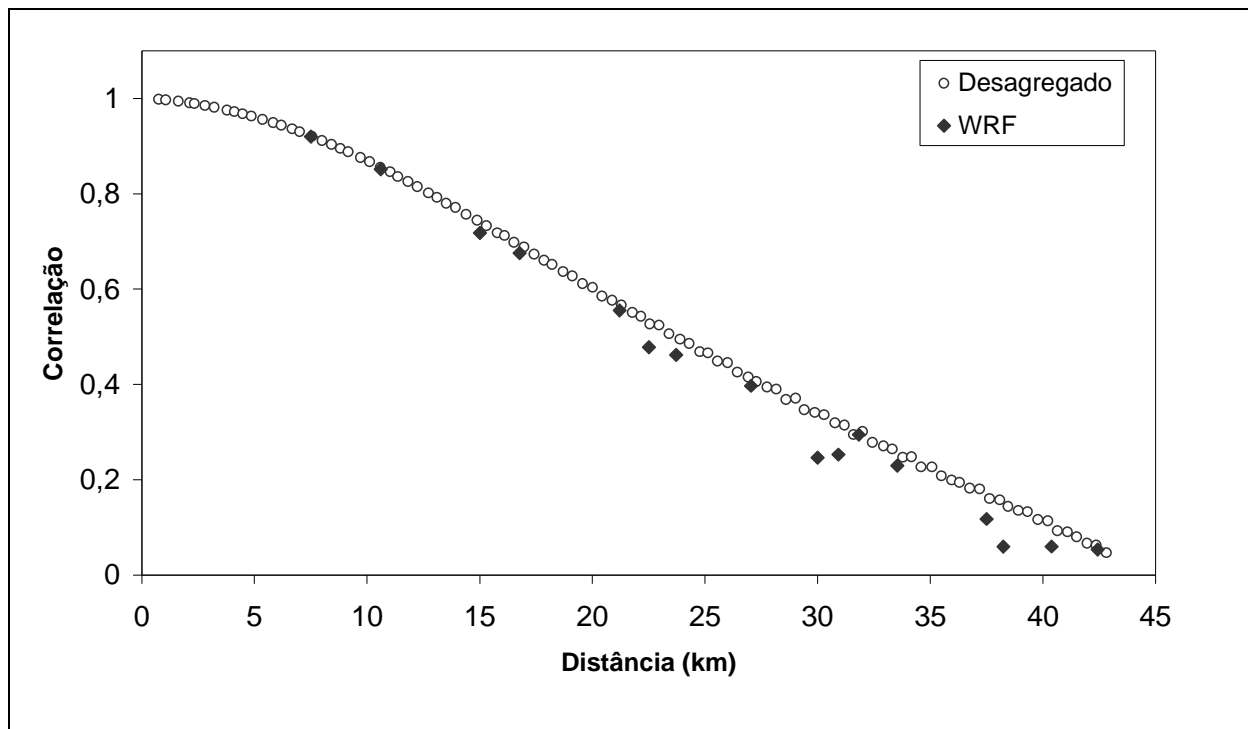


FIGURA 29D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 21/05/2006 – HP=24 horas

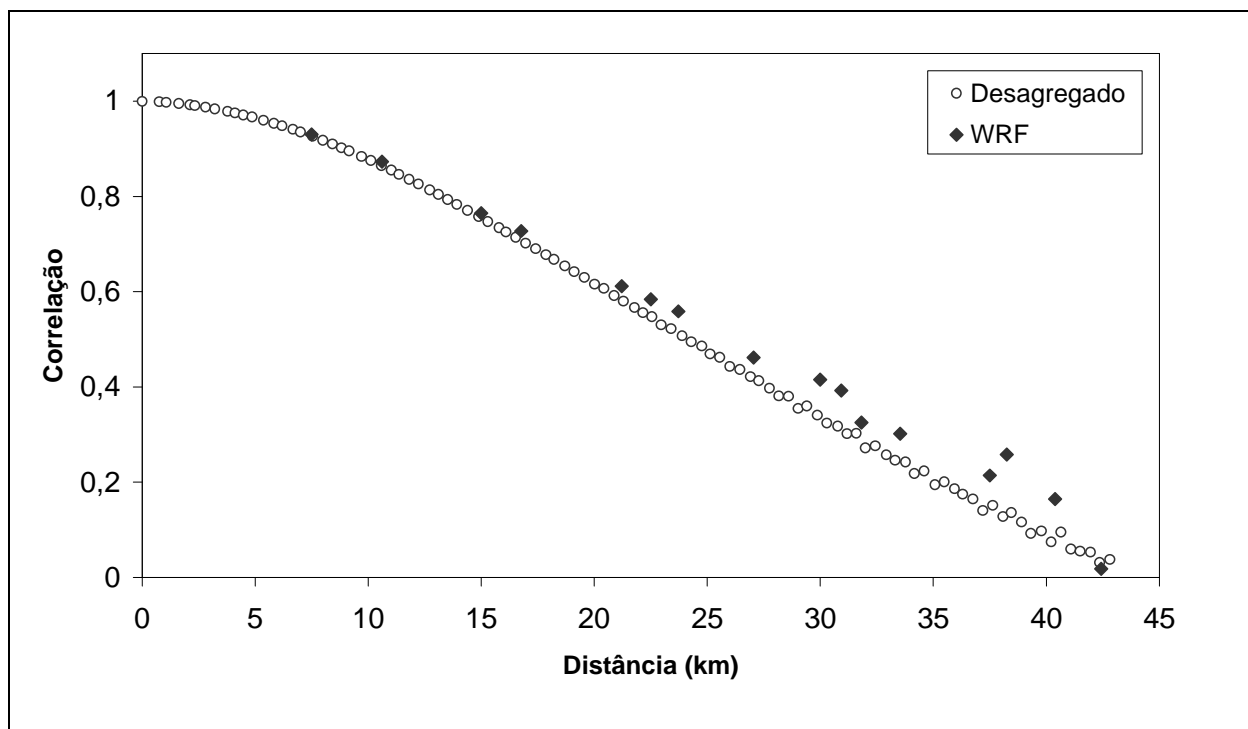


FIGURA 30D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 21/05/2006 – HP=48 horas

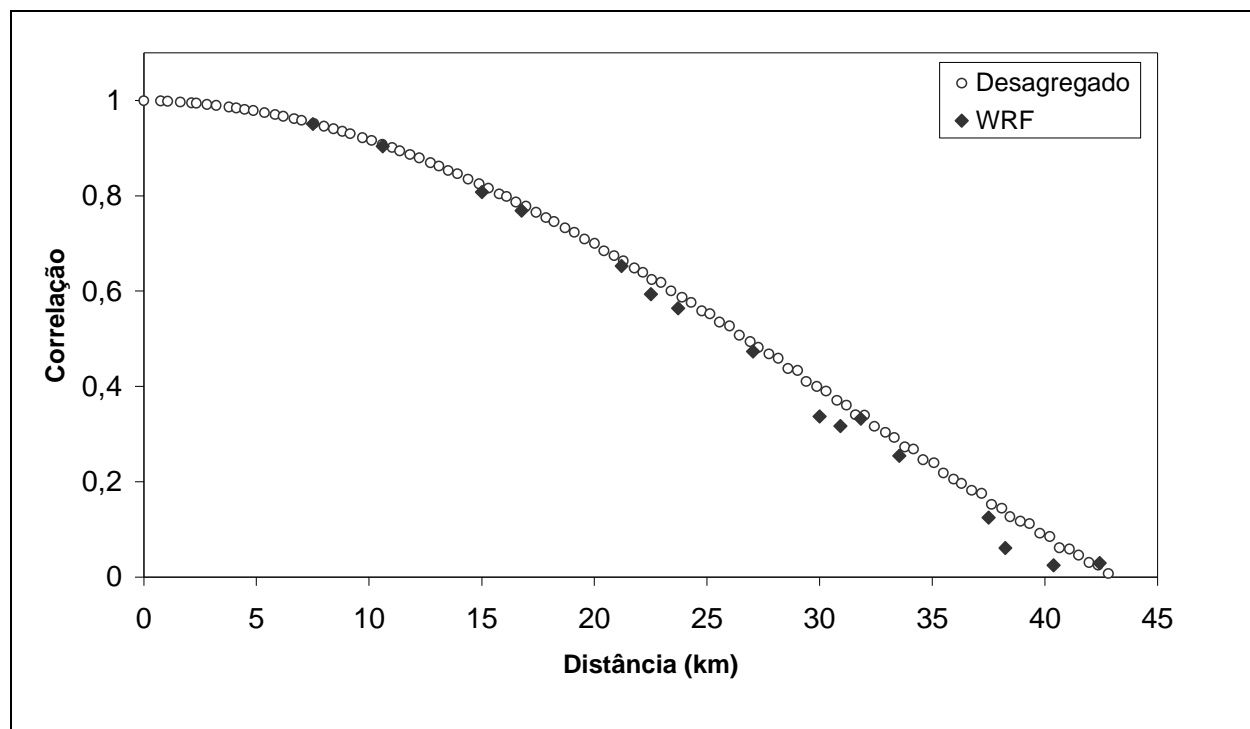


FIGURA 31D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 11/06/2006 – HP=24 horas

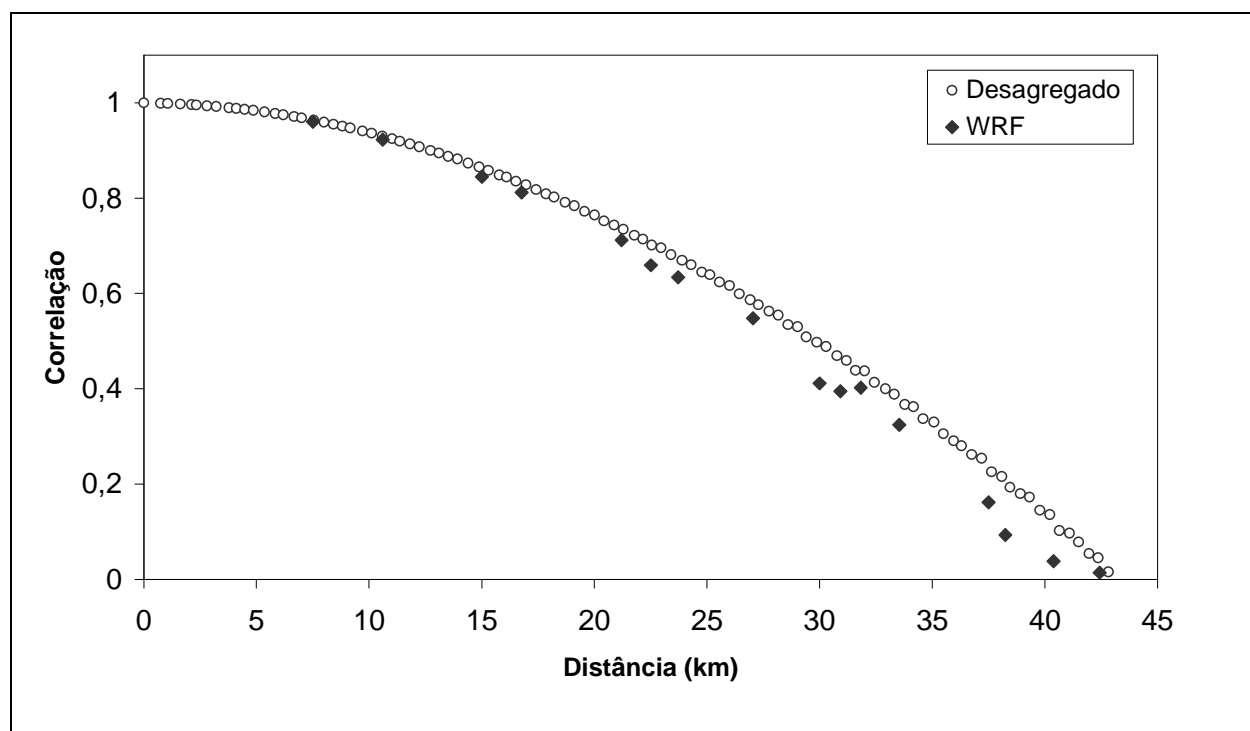


FIGURA 32D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 11/06/2006 – HP=48 horas

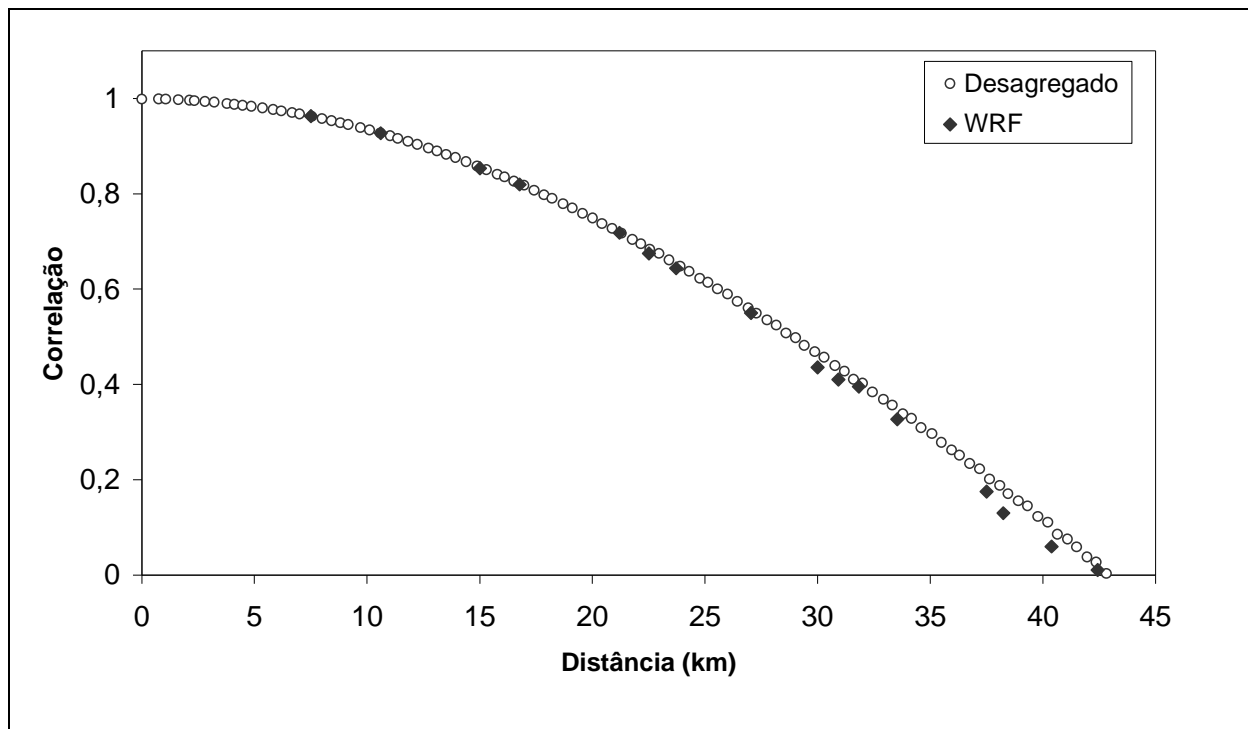


FIGURA 33D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 10/07/2006 – HP=24 horas

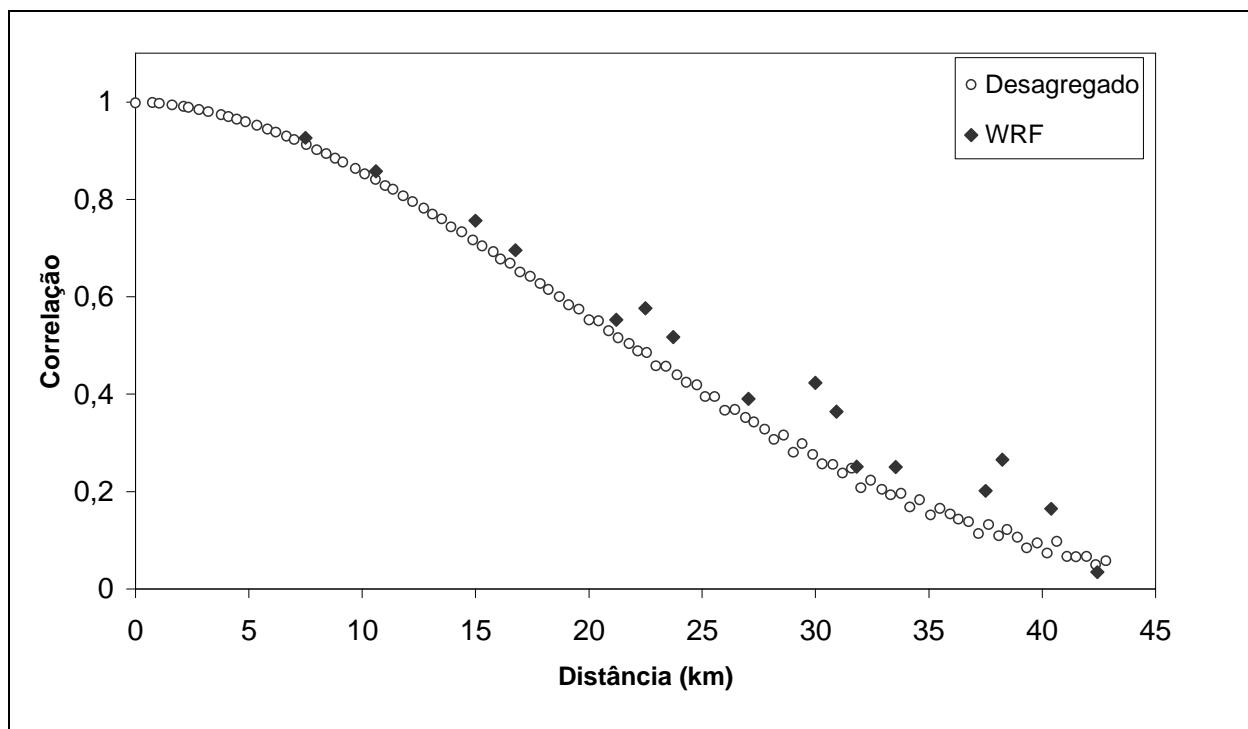


FIGURA 34D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 10/07/2006 – HP=48 horas

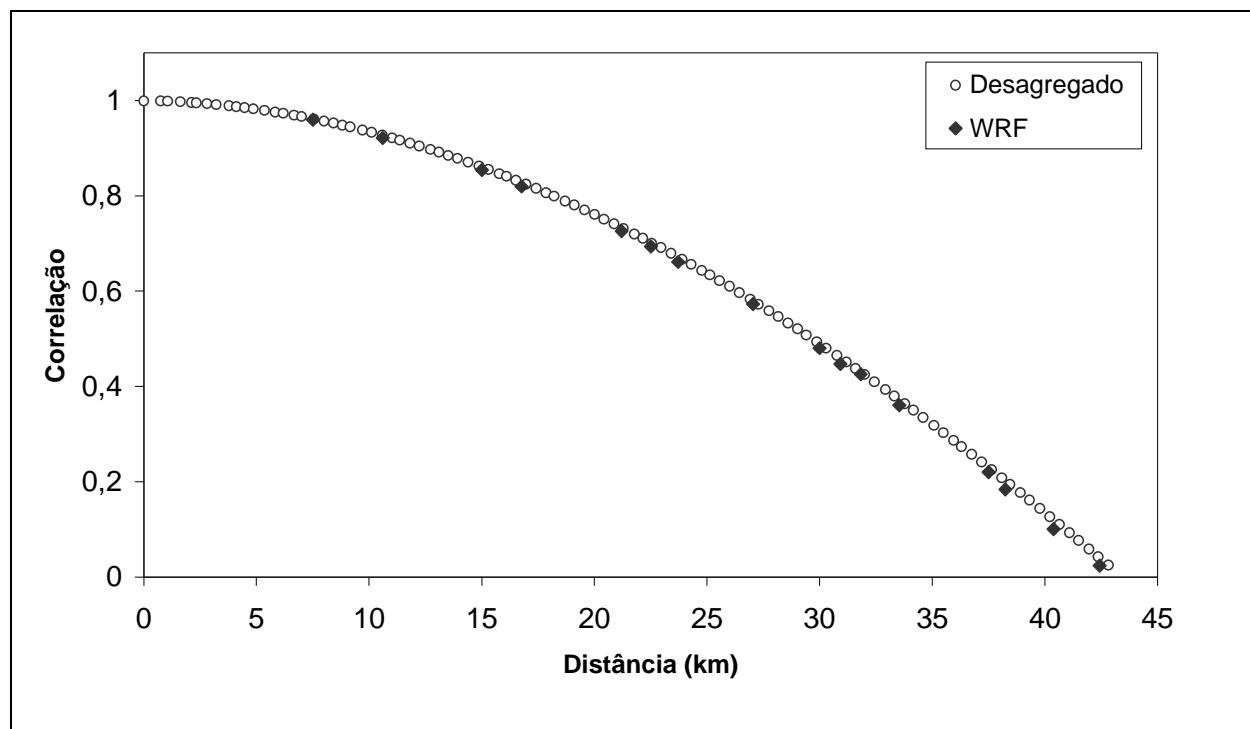


FIGURA 35D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 17/08/2006 – HP=24 horas

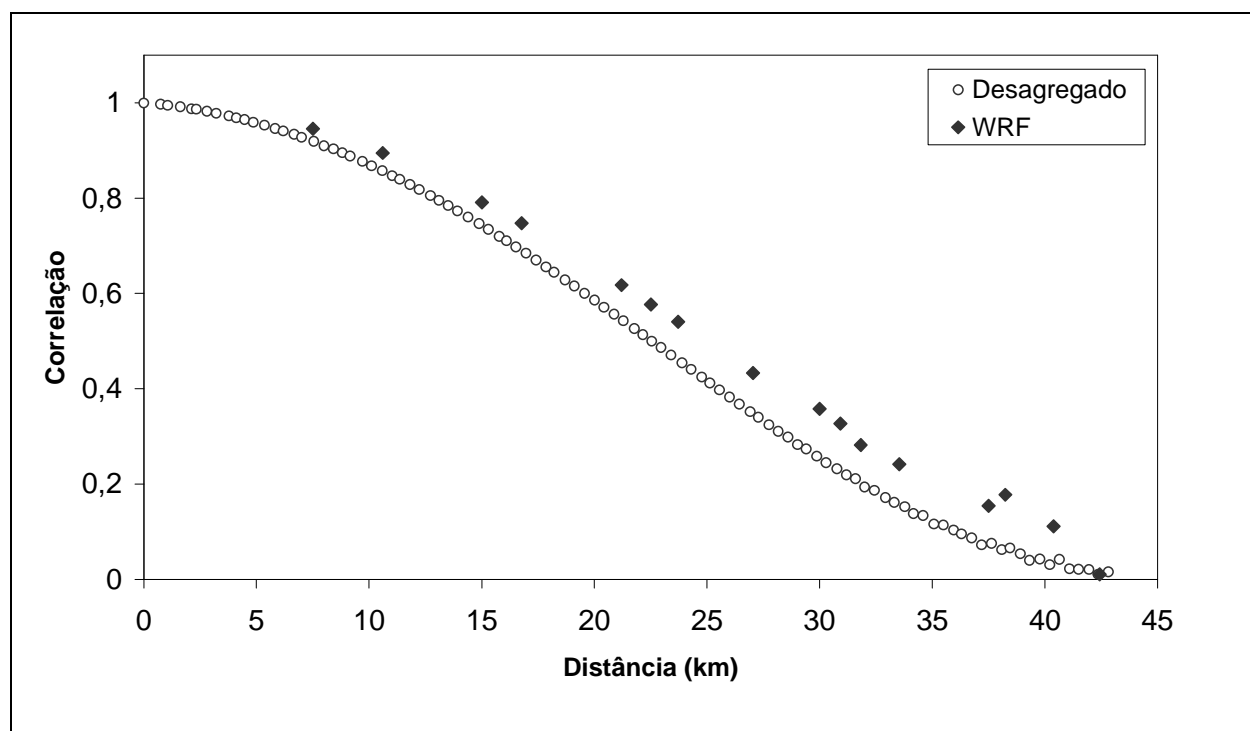


FIGURA 36D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 17/08/2006 – HP=48 horas

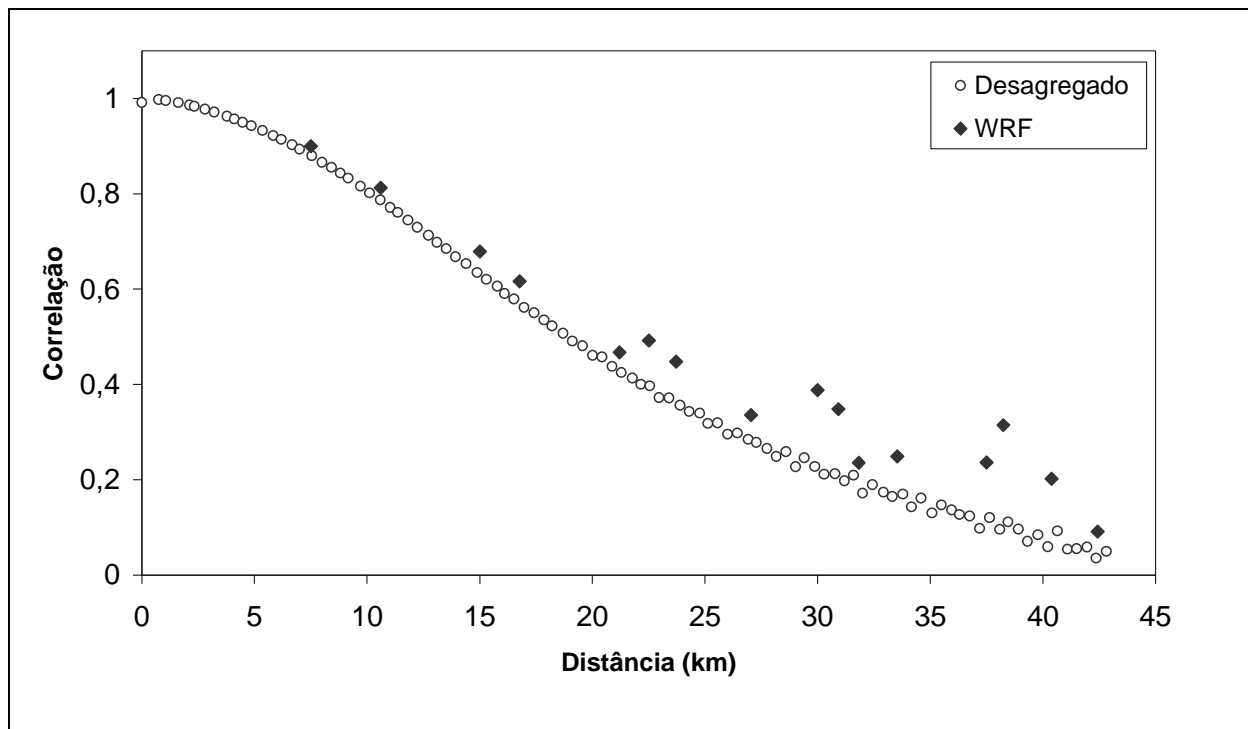


FIGURA 37D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 01/09/2006 – HP=24 horas

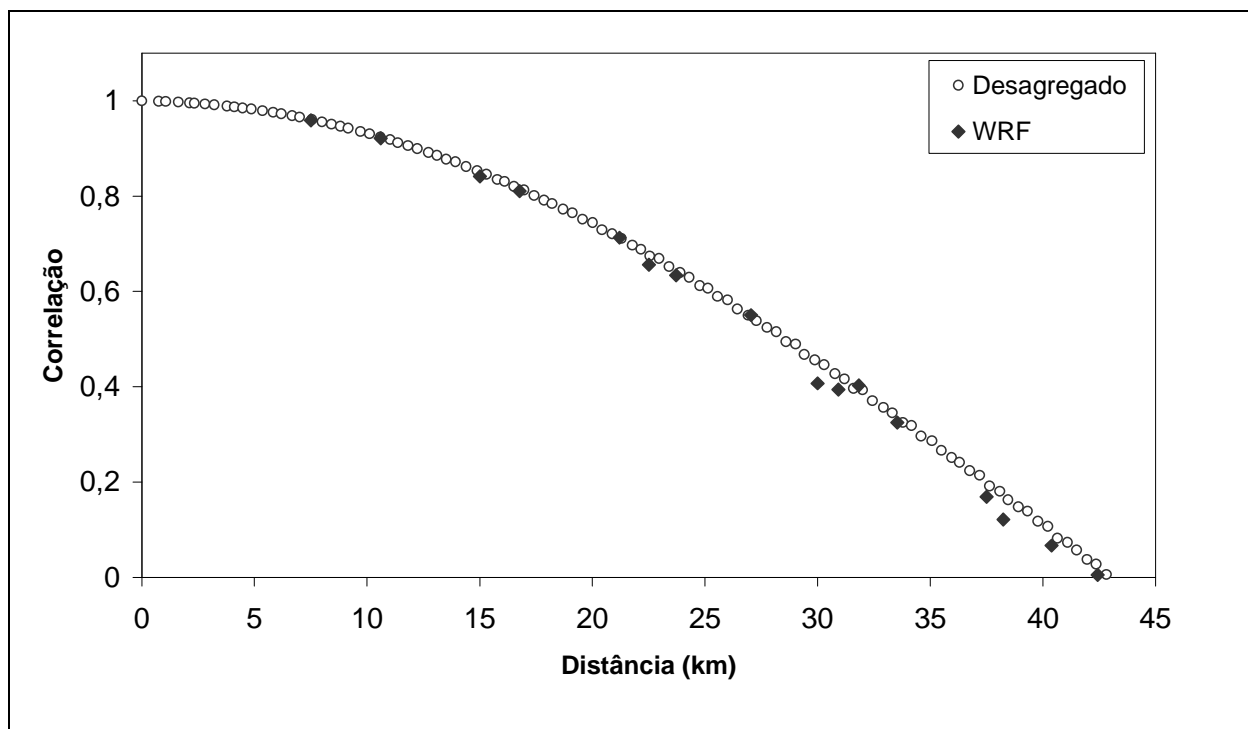


FIGURA 38D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 01/09/2006 – HP=48 horas

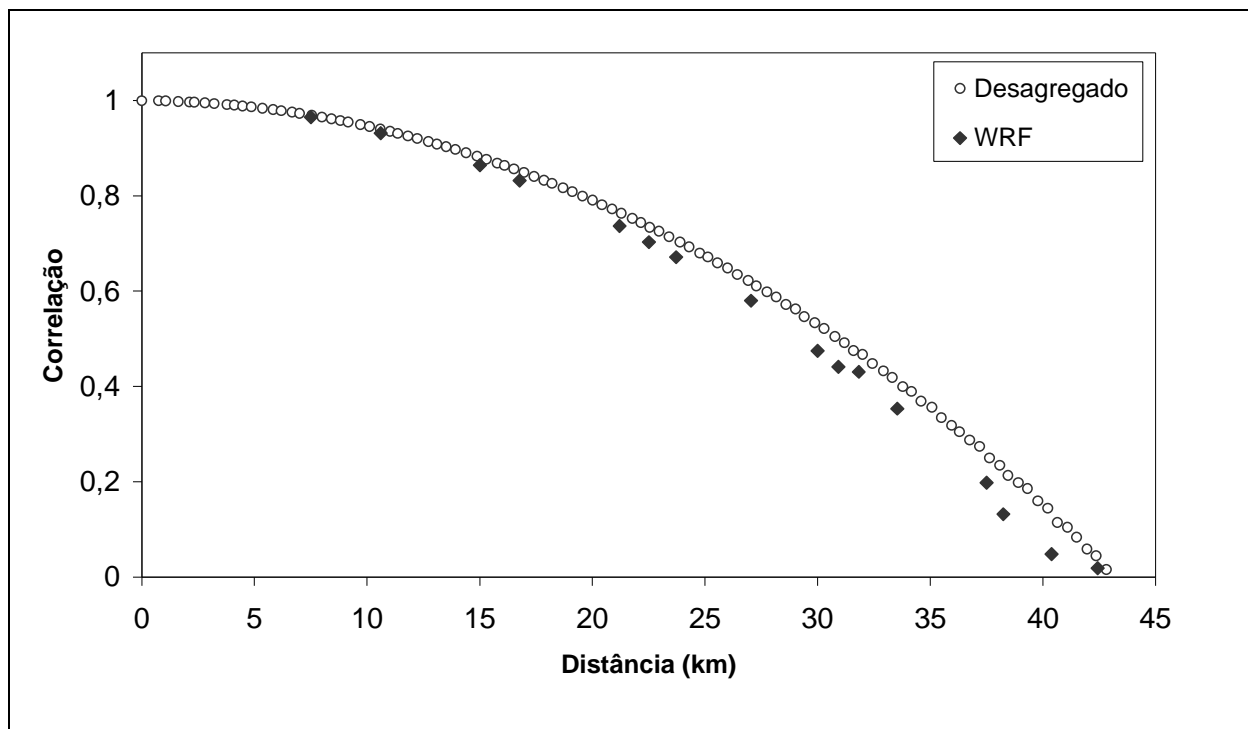


FIGURA 39D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 17/09/2006 – HP=24 horas

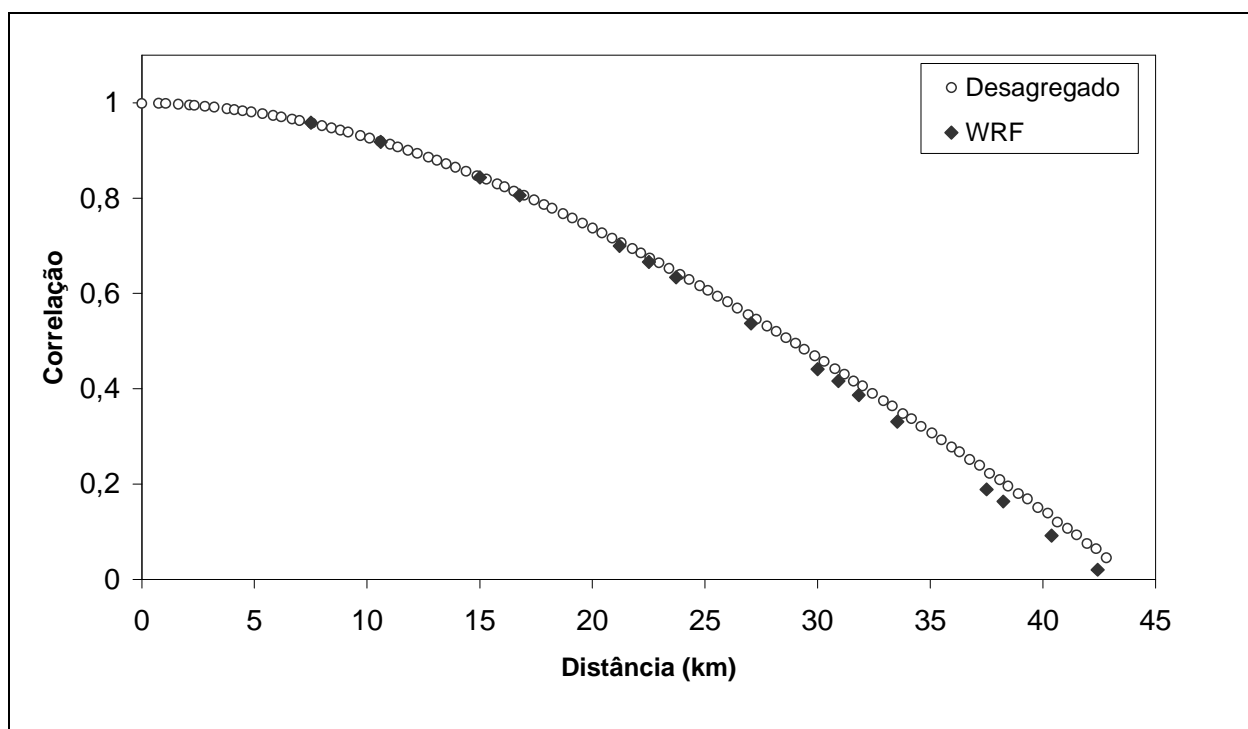


FIGURA 40D – CORRELAÇÃO ESPACIAL – EVENTO 17/09/2006 – HP=48 horas