

Previsibilidade Operacional da Tempestade

de 20 de Fevereiro de 2010

na

MADEIRA

J.Delgado Domingos
Prof. Cat. Instituto Superior Técnico
Investigador IN+

Évora 20 Junho de 2010

Contexto da apresentação I

- O GPNT (IST & IN+) divulga desde 2001 a sua previsão meteorológica para Portugal Continental actualizada 4 x dia
- Em 25-02-2010 cedeu ao Expresso os resultados que teriam sido obtidos em 14-02-2010 **SE** a Madeira estivesse incluída no sistema de alertas que o GPTN envia (4xdia) para a CML e a ANPC
- A Antena I, na sua emissão de 08-03-2010, repetiu essencialmente os mesmos resultados e deu repercussão nacional ao meu pedido de **responsabilização do IM** pelo seu fracasso em prever atempadamente a tempestade de dia 20 na Madeira, lembrando que o MCTES tinha sido por mim alertado, em 1999, para as inevitáveis consequências da actuação do IM se a situação existente não fosse corrigida, como não foi.

Contexto da apresentação II

A apresentação que se segue reproduz apenas dados em que se basearam as minhas intervenções públicas e destinam-se a por no contexto adequado as apreciações de que fui alvo, nomeadamente a impossibilidade de emitir uma chamada de atenção para os serviços responsáveis com 7 dias de antecedência e um alerta seguro com pelo menos 3 dias.

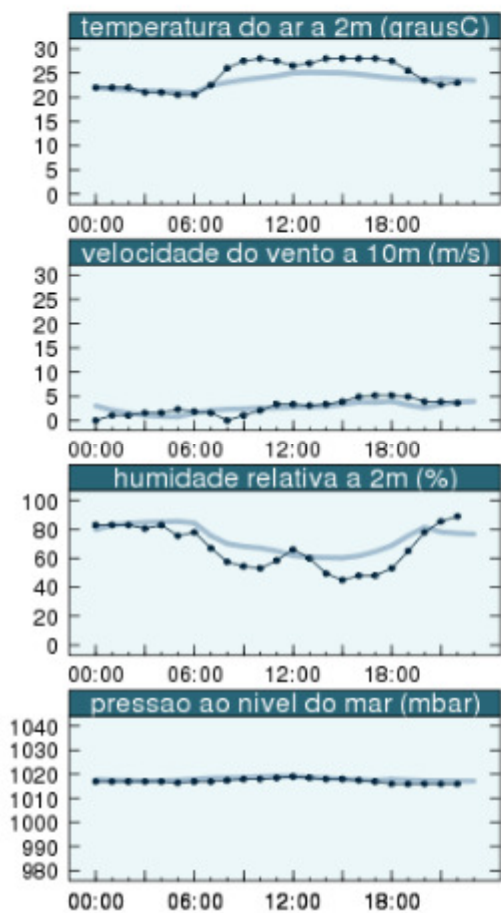
Previsibilidade e Previsão Operacional I

- A exigência fundamental de uma previsão operacional é que seja útil, i.e. , a tempo de poderem ser tomadas medidas preventivas, se necessário.
- O estudo da previsibilidade de um fenómeno extremo é fundamental para inspirar a previsão operacional, mas tem metodologias e implementações diferentes.
- Confundir Previsão Operacional com Previsibilidade é comum, sobretudo entre os que tendem a reduzir TODA a actividade científica relevante à métrica dos *papers peer reviewed*.

Previsibilidade e Previsão Operacional II

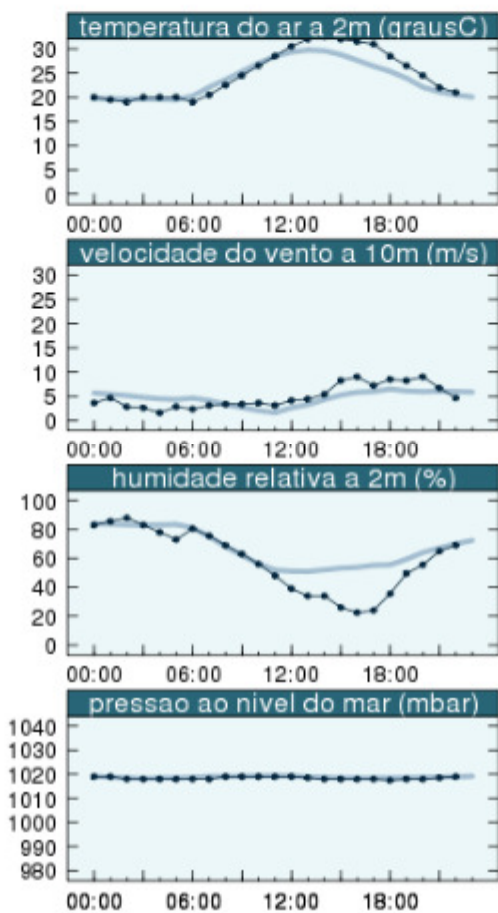
- Sem uma previsão operacional eficaz, a previsão sofisticada de um fenómeno extremo **surge sempre depois de o mesmo ter acontecido !**
- A análise automática dos resultados da previsão operacional é crucial porque um fenómeno extremo é raro e sem um alerta automatizado passa facilmente despercebido na rotinização da análise por operadores humanos.
- A previsão operacional exige a implementação de sistemas computacionais anti-falhas e de recuperação automática de erros de funcionamento.
- O GPNT deu prioridade à Previsão Operacional e a **taxa de sucesso** (medida pelo número de previsões bem sucedidas em relação às 4x por dia solicitadas) obtida nos últimos 5 anos foi de **99.99%**.
Uma taxa de qualidade, objectiva e quantificada, não pode ser adequadamente aferida para Portugal **por não existirem dados de observações com qualidade e em número suficiente.**
- O GPNT passou a disponibilizar no seu site a previsão e as observações disponíveis tempo real (Aeroportos de Lisboa, Porto e Faro, hora a hora) esperando que o exemplo seja seguido, entre outros, pelo IM

Faro Aeroporto



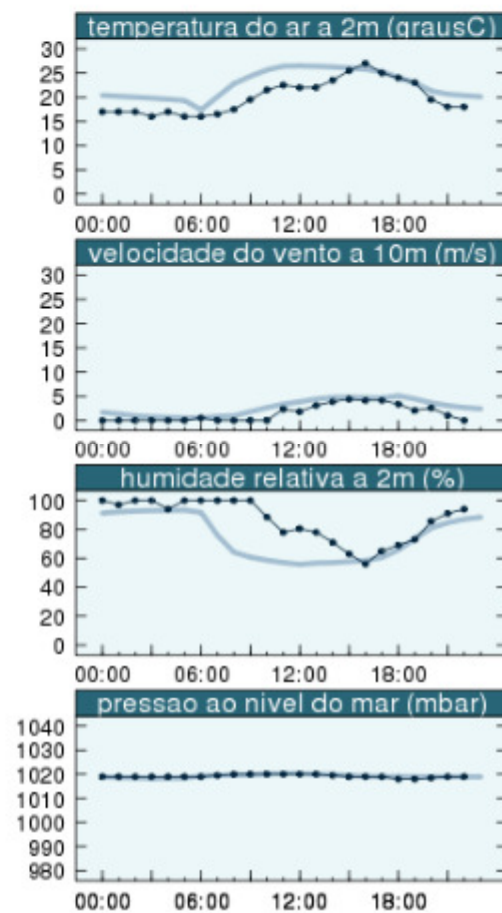
29-Jun-2010

Lisboa Aeroporto

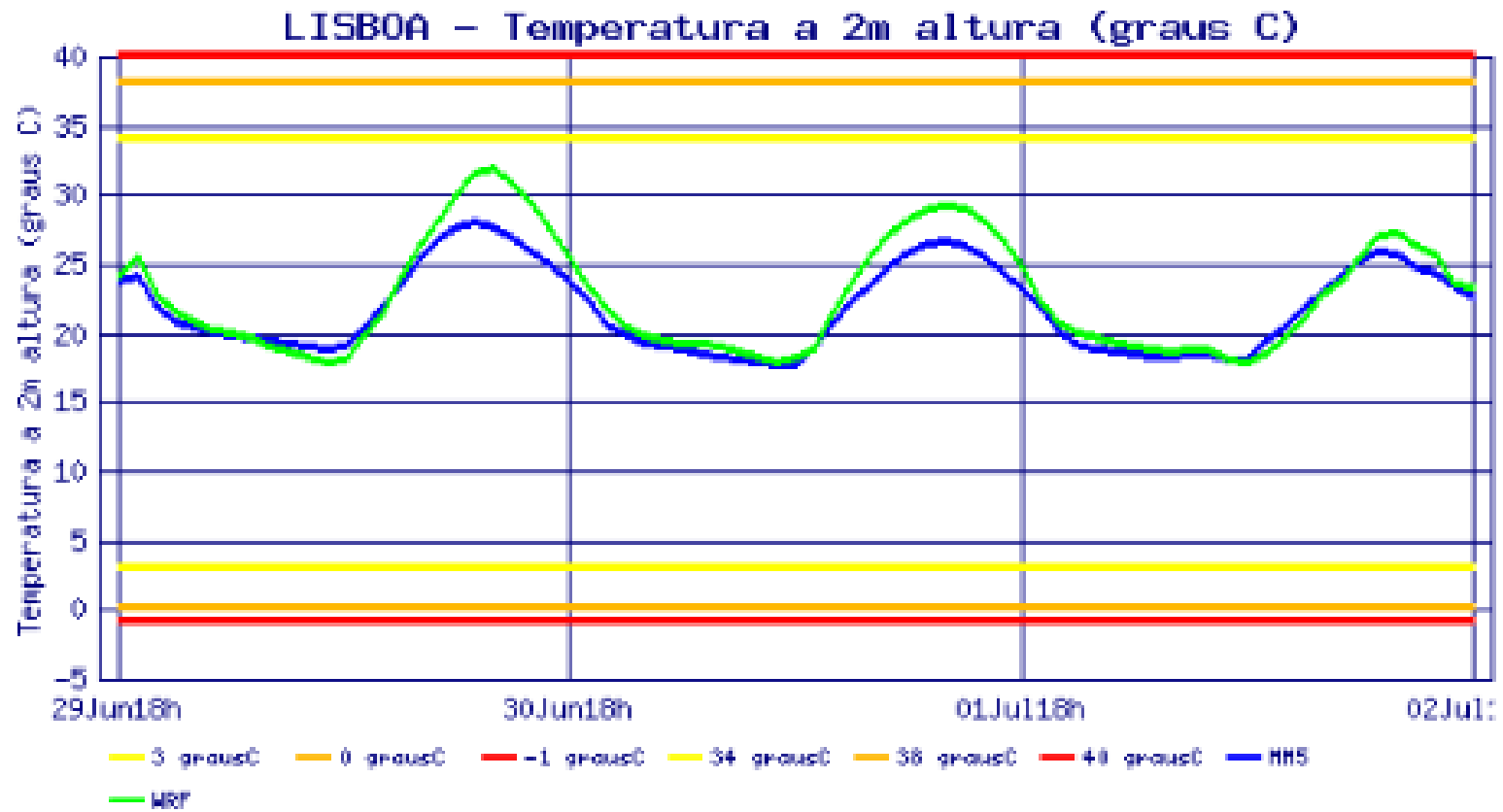


29-Jun-2010

Porto Aeroporto



29-Jun-2010



Fundamentos Físico-Matemáticos do Modelo de Previsão Numérica do Tempo

Modelo AWRP -3.2 –NCAR-NWS... (E.U.A.)

Solução numérica das equações físicas fundamentais em 3 dimensões e tempo:

- Equações de Navier Stokes, fluido compressível
- Equação de conservação da massa
- Equação de conservação da energia
- Equações de conservação da água nas várias fases (sólida, líquida, vapor)

Juntamente com as equações termodinâmicas de estado para o ar húmido.

A solução exige ainda o conhecimento da orografia, da cobertura do solo (tipo de vegetação, edifícios,..) e propriedades do solo, em valor médio para cada quadricula (~1x1 km)

No estudo das alterações climáticas são habitualmente utilizadas versões simplificadas desta formulação

Ordens de grandeza típicas

- As equações são integradas a partir do conhecimento do estado inicial e do forçamento nas fronteiras do domínio de integração.
- O domínio é subdividido tipicamente em 27 níveis em altura (~ 0 a 15km) na vertical e 100x100 na horizontal.
- As dimensões horizontais são críticas, porque o calculo é para o valor médio no interior de cada paralelepípedo.

O número de equações a resolver para cada passo no tempo é da ordem de 1.600.000

Cada passo no tempo é ~ 6 segundos/km quadricula horizontal.

Aumentar a resolução espacial de 2 vezes implica um aumento de $\sim 4x$ no n° de equações e ~ 8 no tempo de cálculo se o domínio se mantiver

Utilizam-se por isso domínios aninhados

Limitações computacionais

As ordens de grandeza anteriores evidenciam um limite à máxima resolução espacial utilizável operacionalmente com os computadores disponíveis.

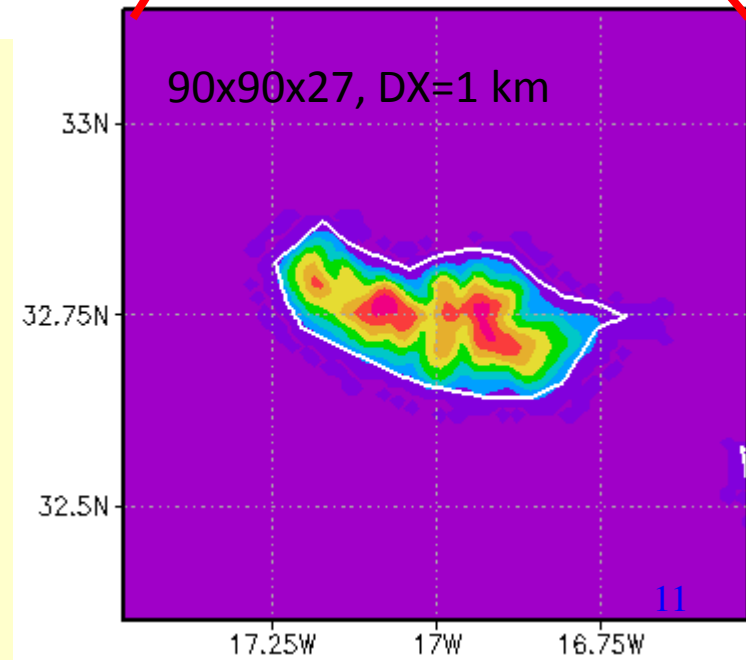
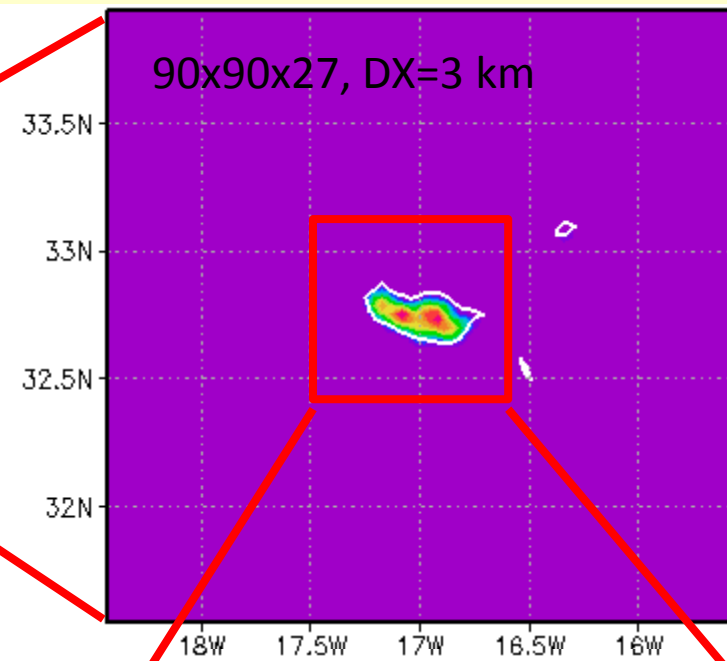
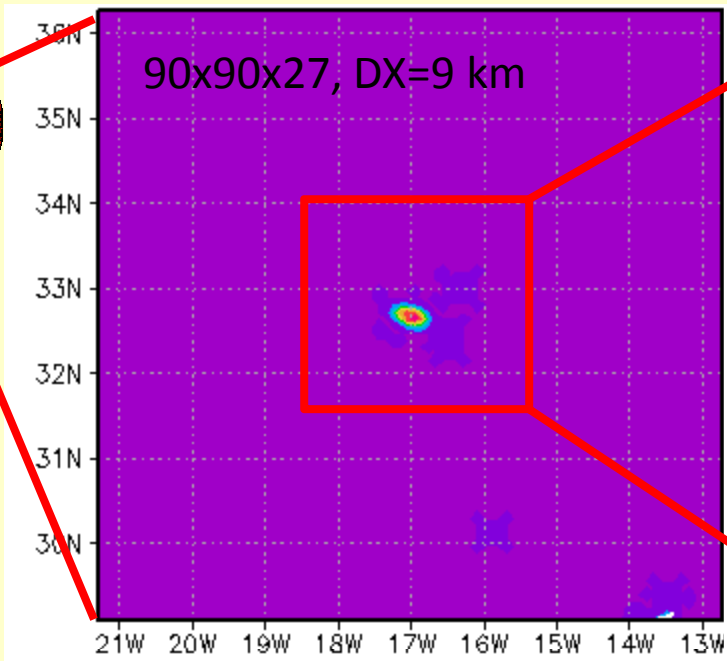
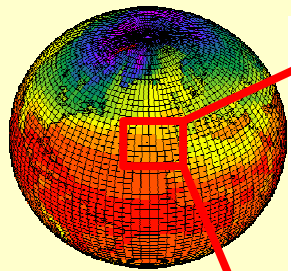
No modelo global do Centro Europeu (ECMWF), utilizado pelo IM, a máxima resolução era de ~ 25x25km.

No Global Forecast System (GFS) , americano, que utilizamos, de ~40x40 km.

Nos modelos climáticos do IPCC (2007) foi de ~110x110 km.

Para que um fenómeno físico possa ser razoavelmente descrito é necessário que tenha uma dimensão espacial superior a 2~3 quadriculas.

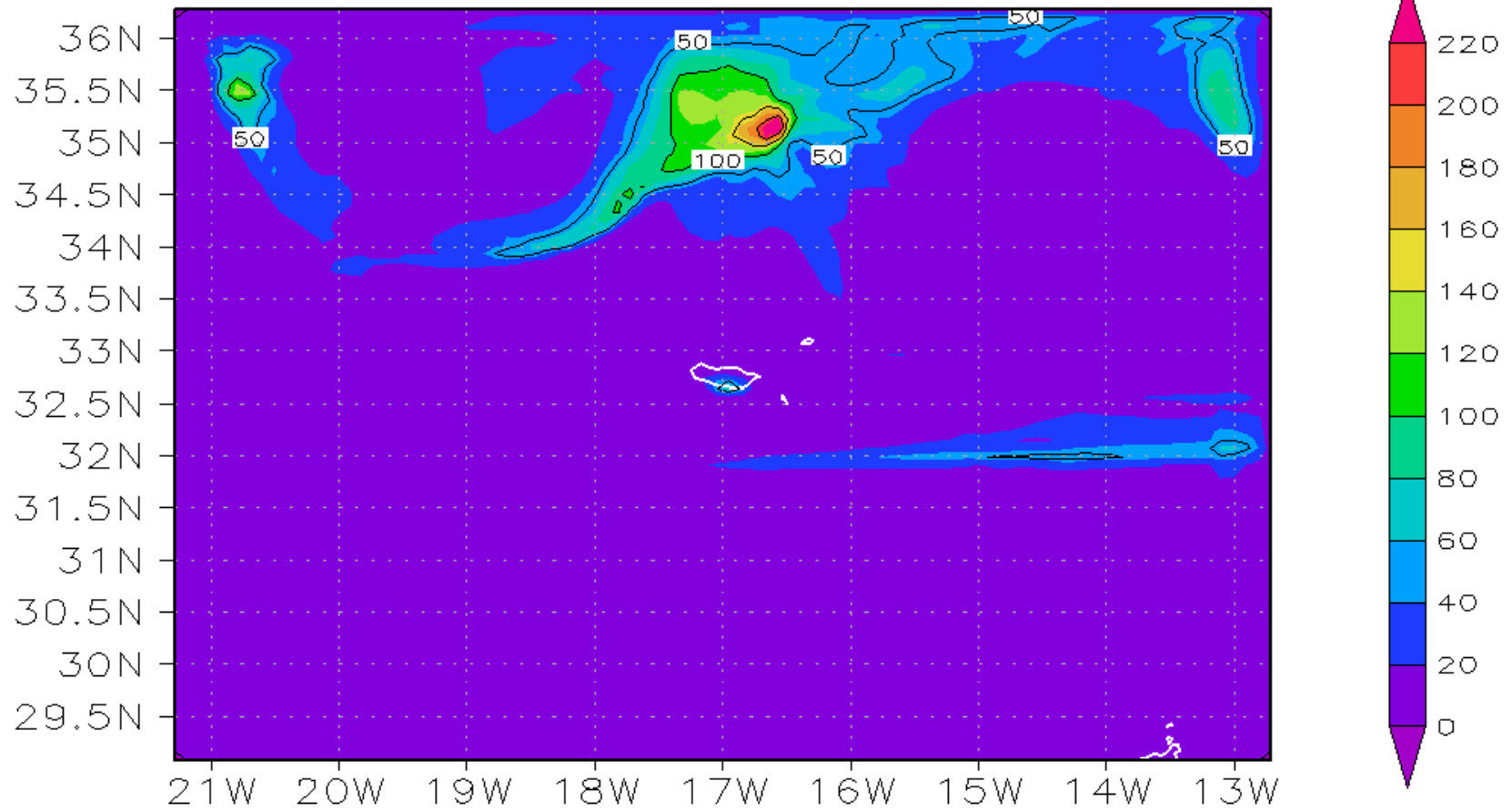
Tal significa que **um fenómeno meteorológico provocado pelo relevo da MADEIRA não era previsível pelo modelo global do Centro Europeu nem pelo do GFS.**



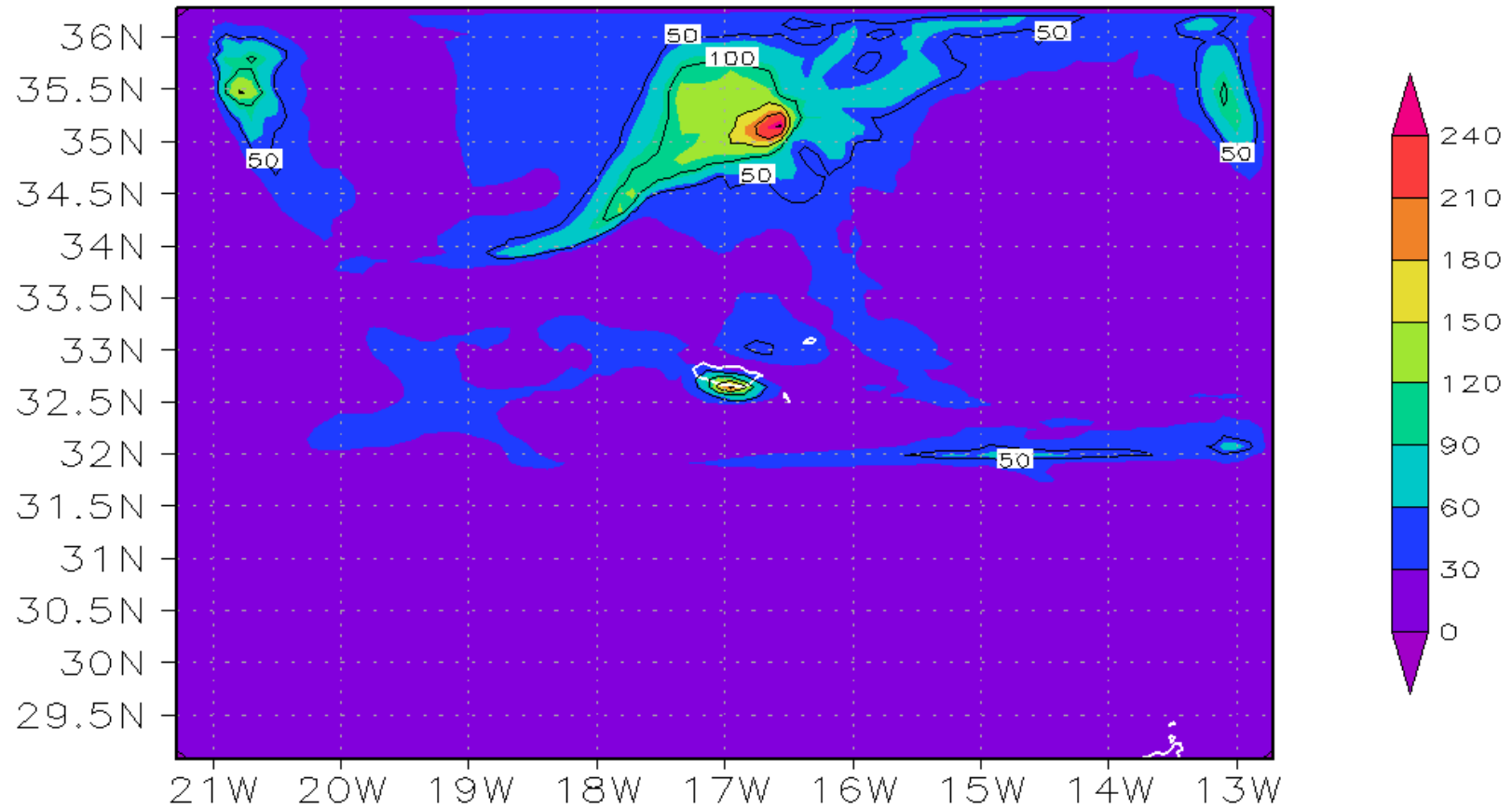
Previsões obtidas em 14 de
Fevereiro
para as 168 horas (7 dias) seguintes

Resolução de 9x9 km

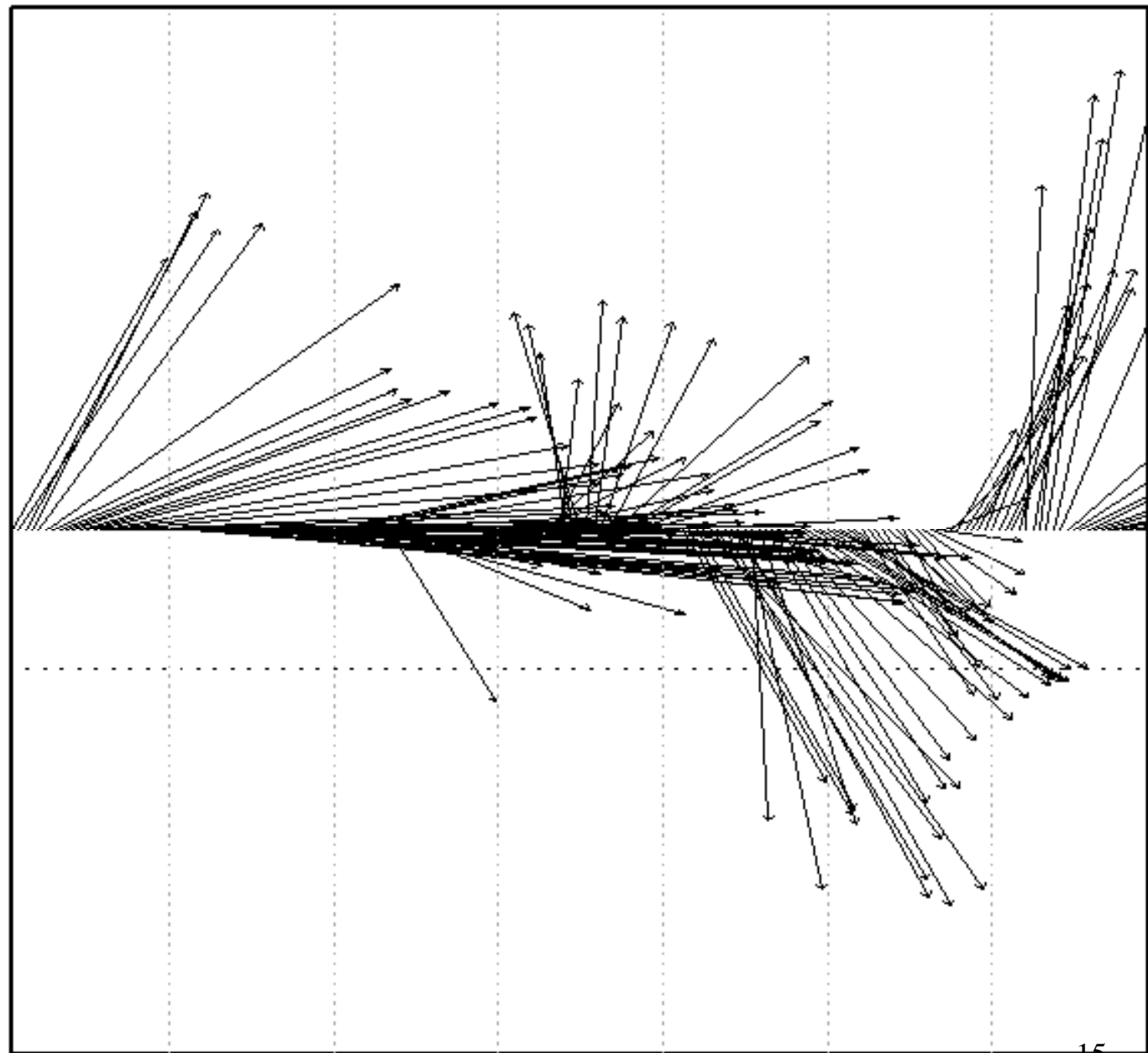
Chuva (mm acumulados desde inicio)
18FEB2010 12:00 ' D01



Chuva (mm acumulados desde inicio)
20FEB2010 12:00 ' D01

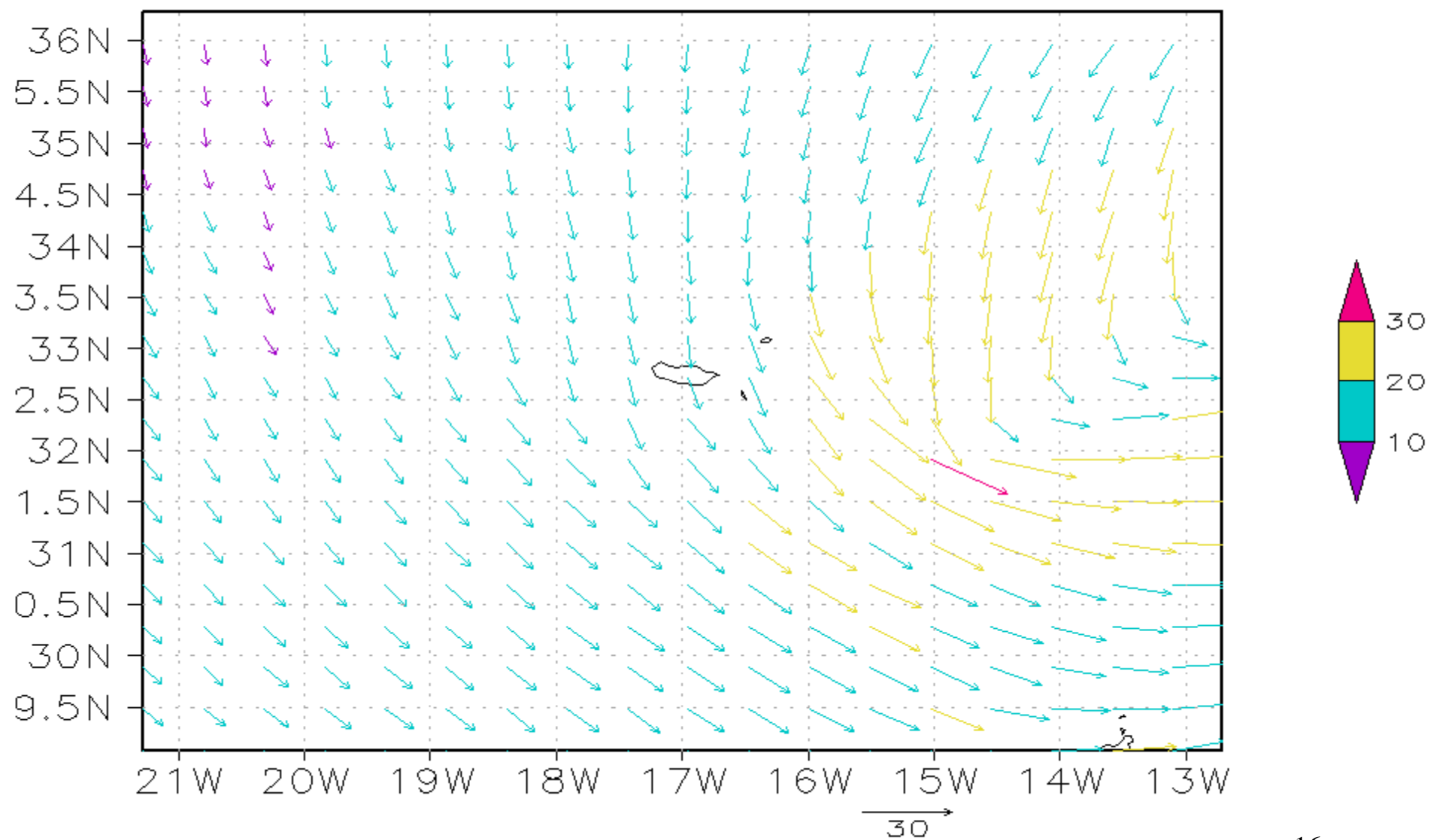


Vento (m/s)
17 graus Oeste 32.75 Norte D01 Sigm=1

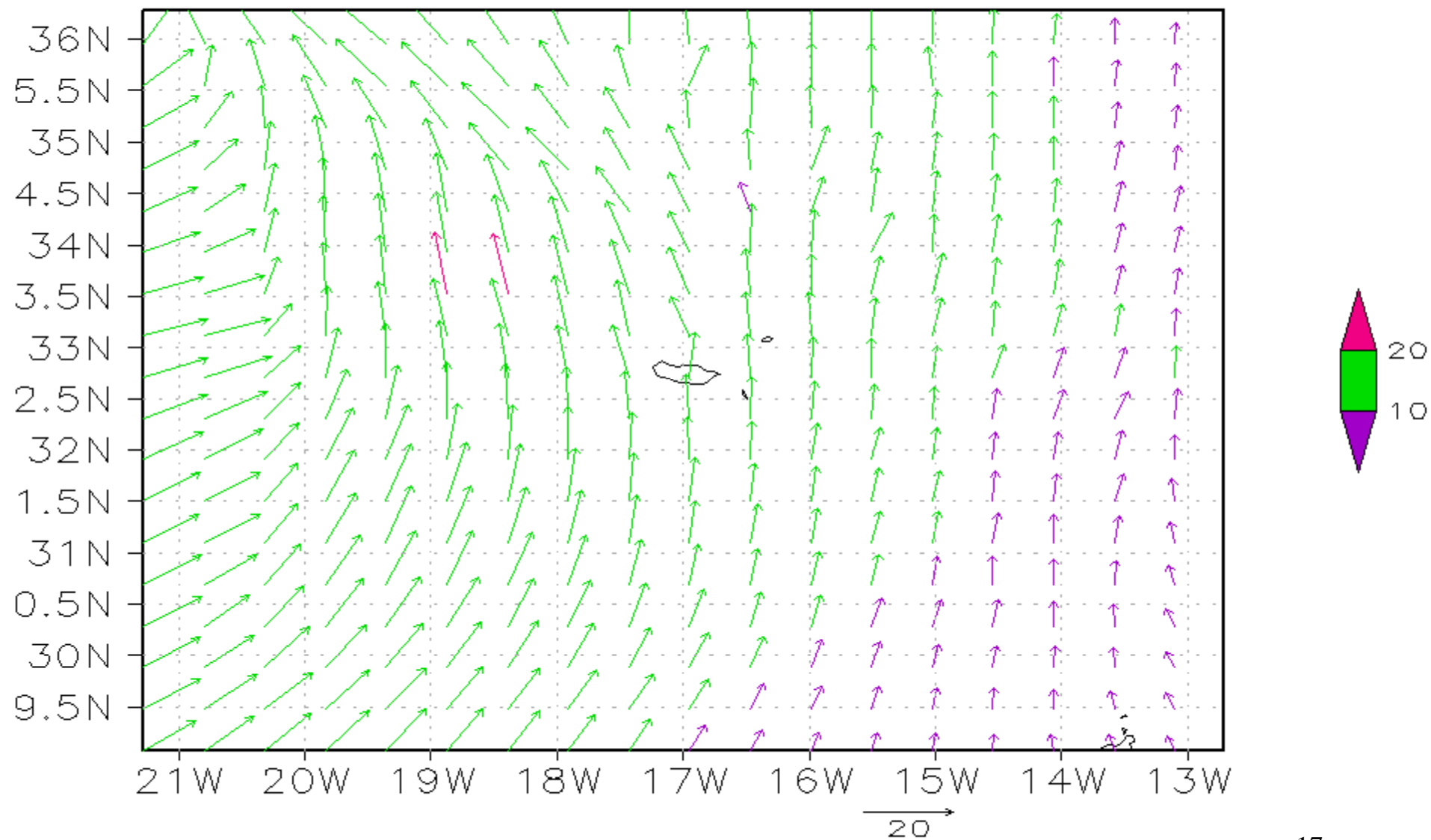


15 FEB 16 FEB 17 FEB 18 FEB 19 FEB 20 FEB 15
2010

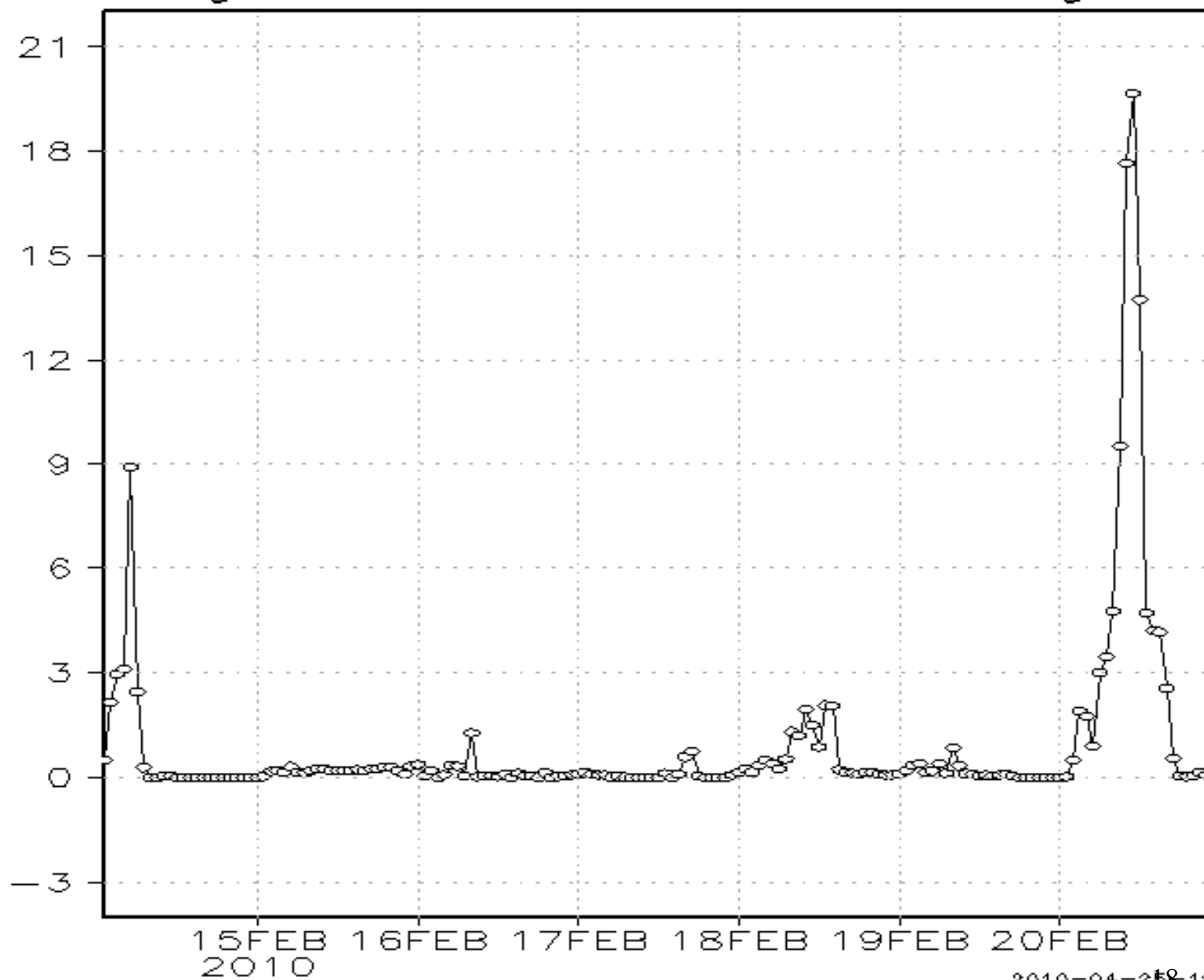
Vento Superficie a 10m (m/s)
18FEB2010 12:00 ' D01



Vento Superficie a 10m (m/s)
20FEB2010 06:00 ' D01



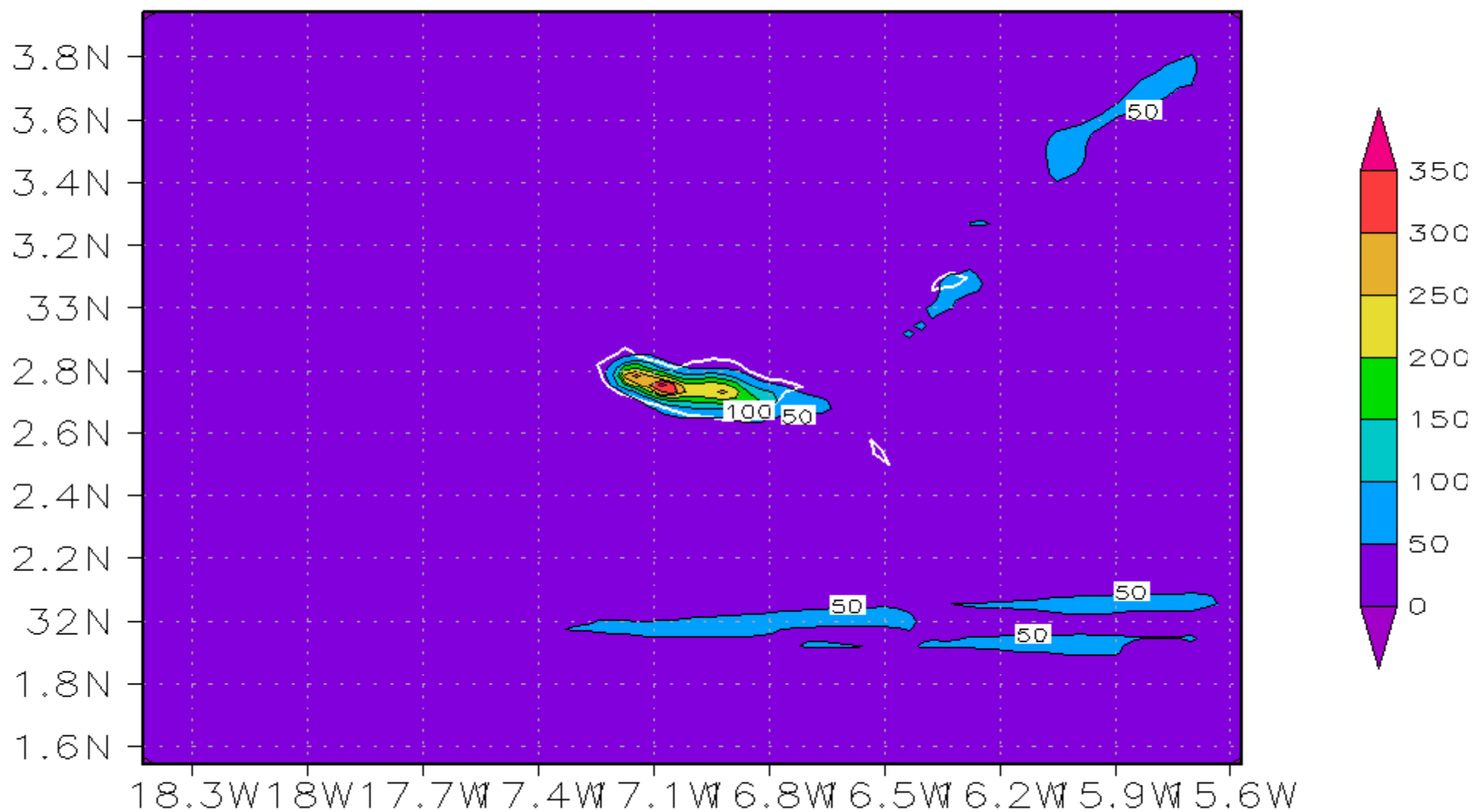
Chuva horaria (mm)
17 graus Oeste 32.75 Norte D01 Sigm=1



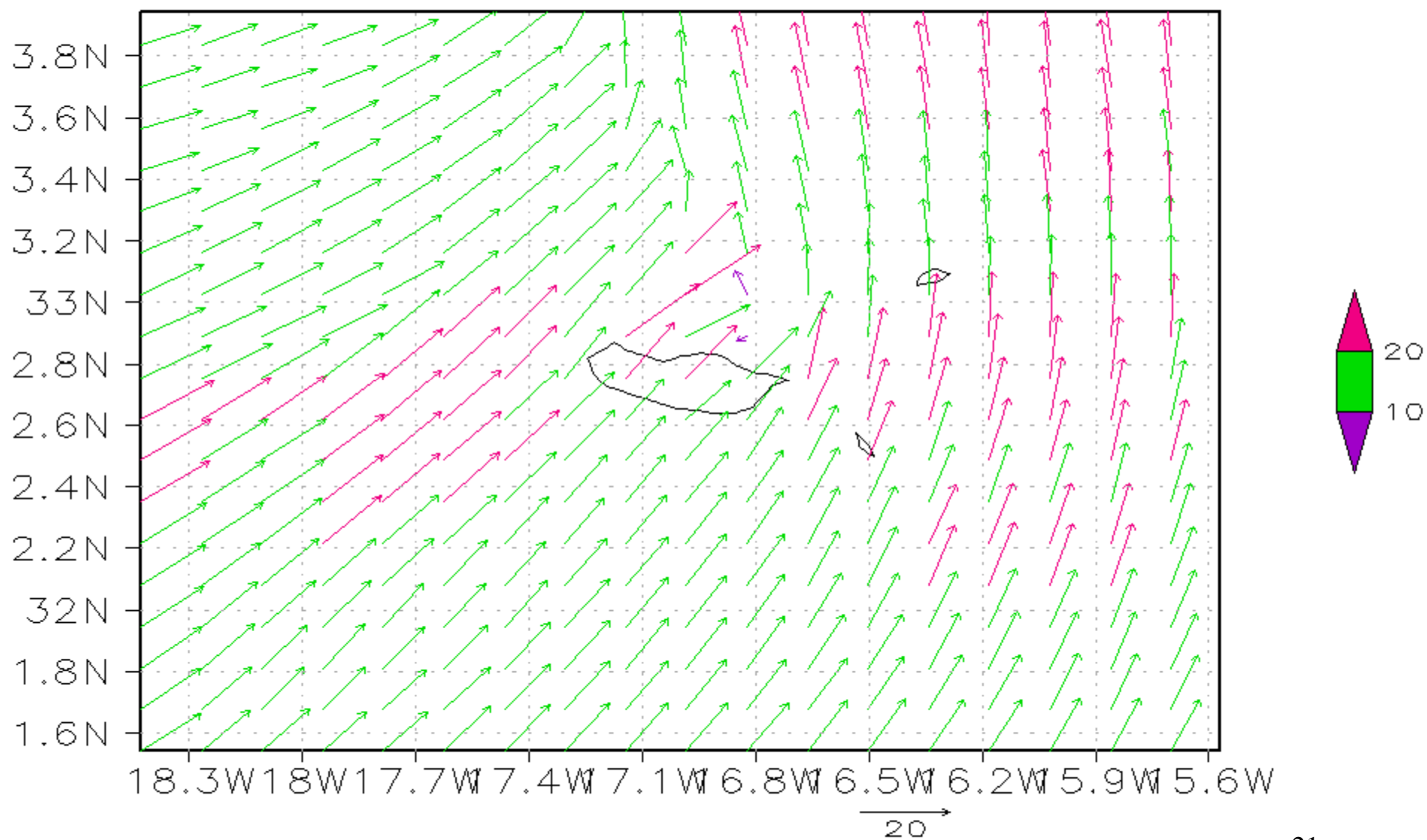
Previsões obtidas em 14 de Fevereiro
para as 168 horas (7 dias) seguintes

Resolução de 3x3 km

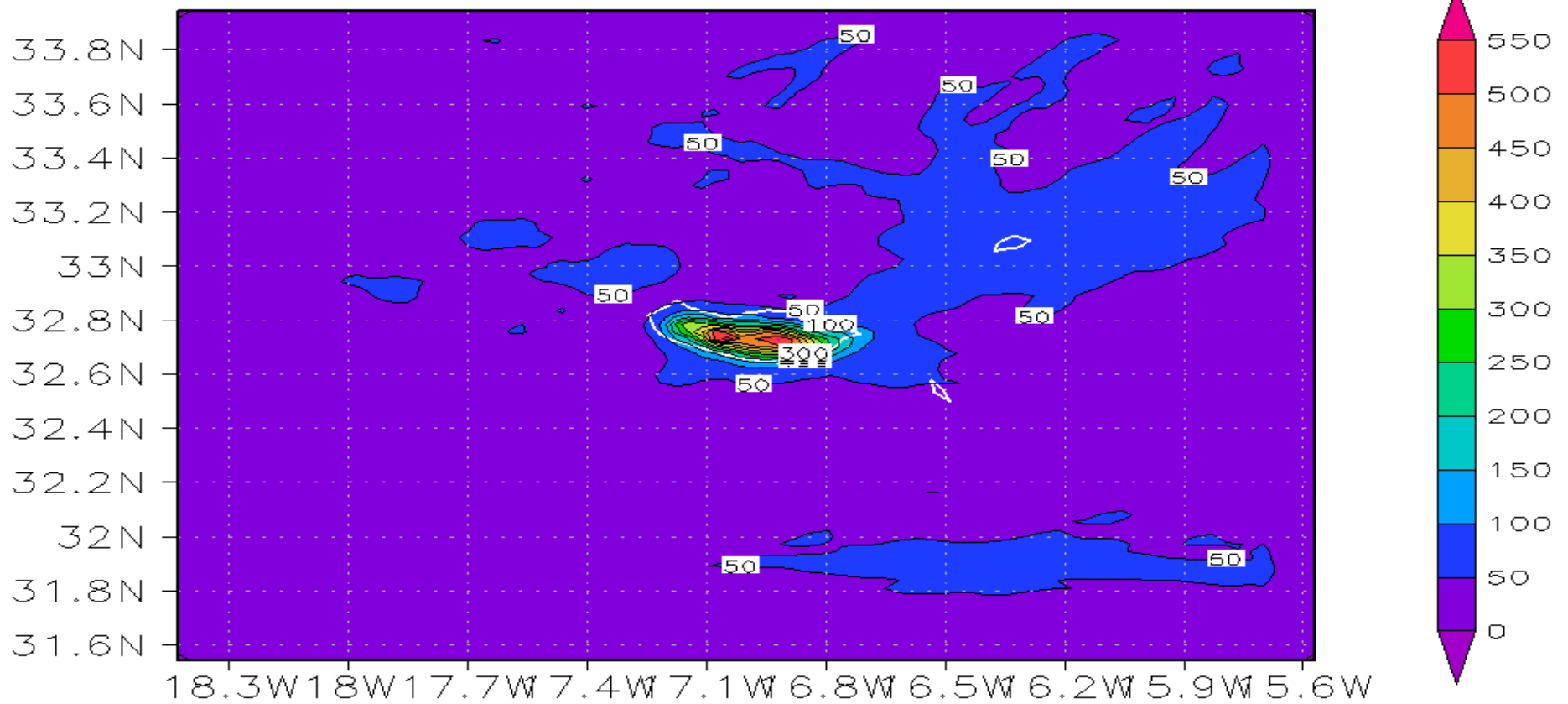
Chuva (mm acumulados desde inicio)
18FEB2010 12:00 ' D02



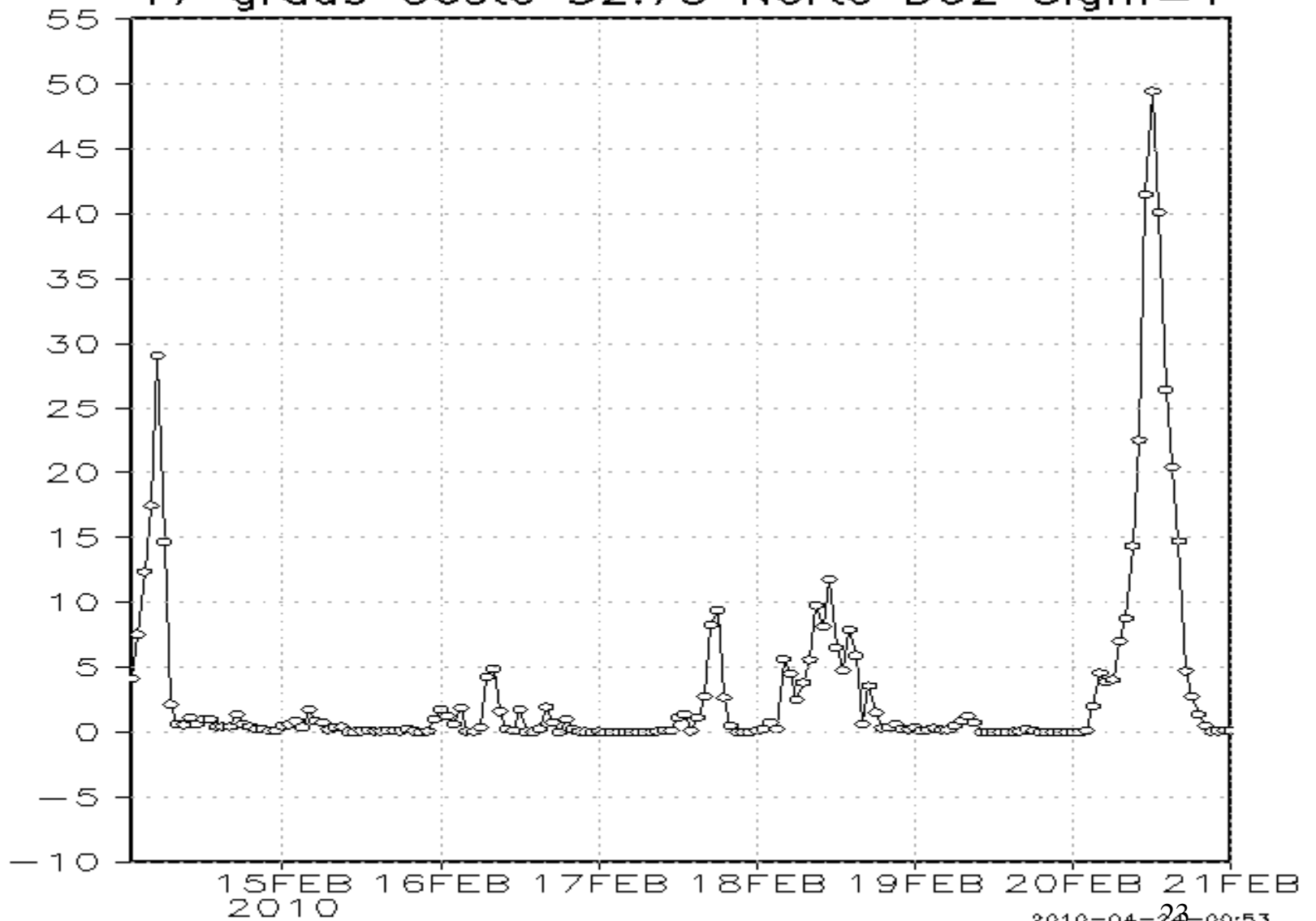
Vento Superficie a 10m (m/s)
20FEB2010 12:00 ' D02



Chuva (mm acumulados desde inicio)
20FEB2010 13:00 ' D02



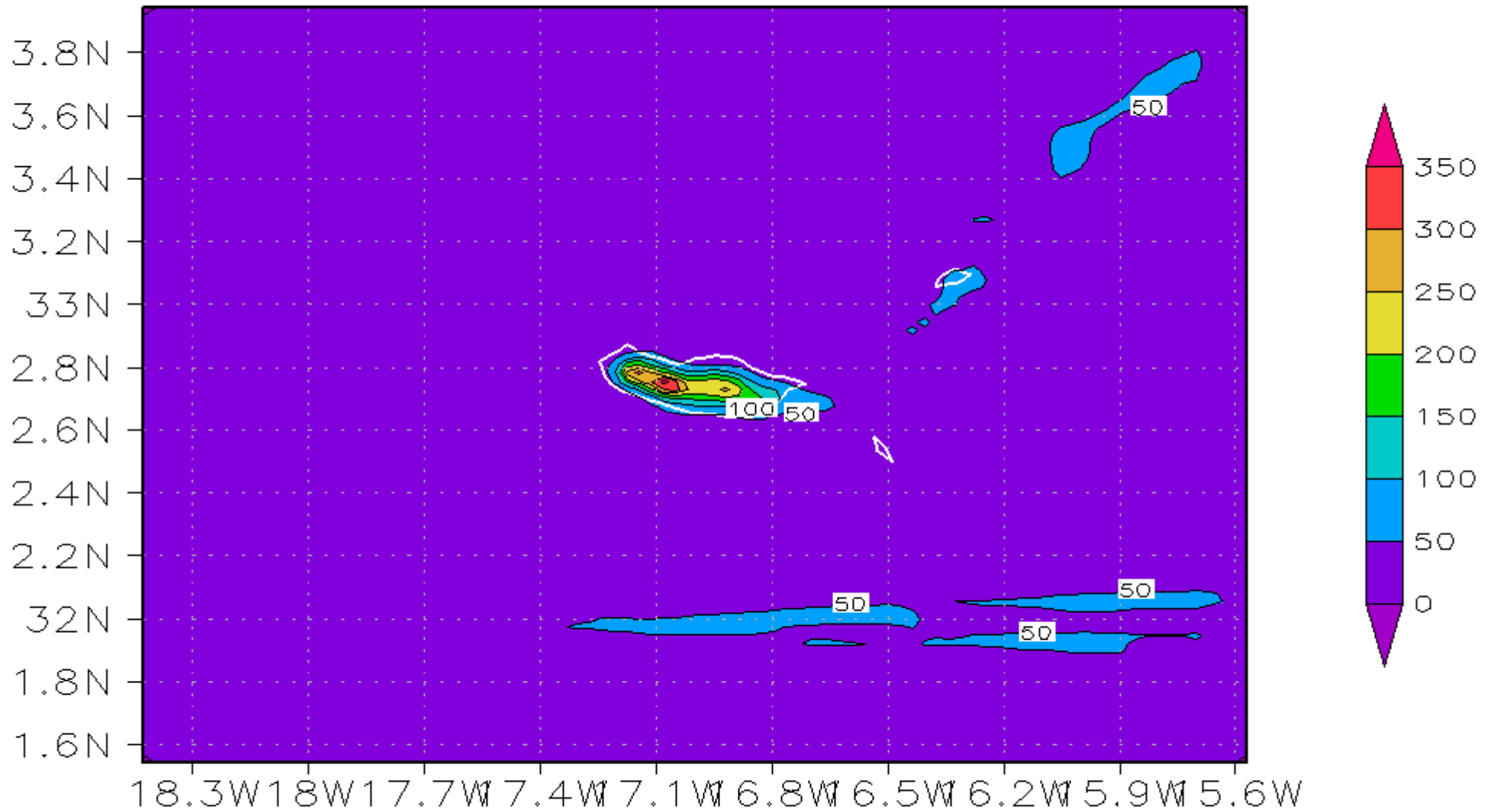
Chuva horaria (mm)
17 graus Oeste 32.75 Norte D02 Sigm=1



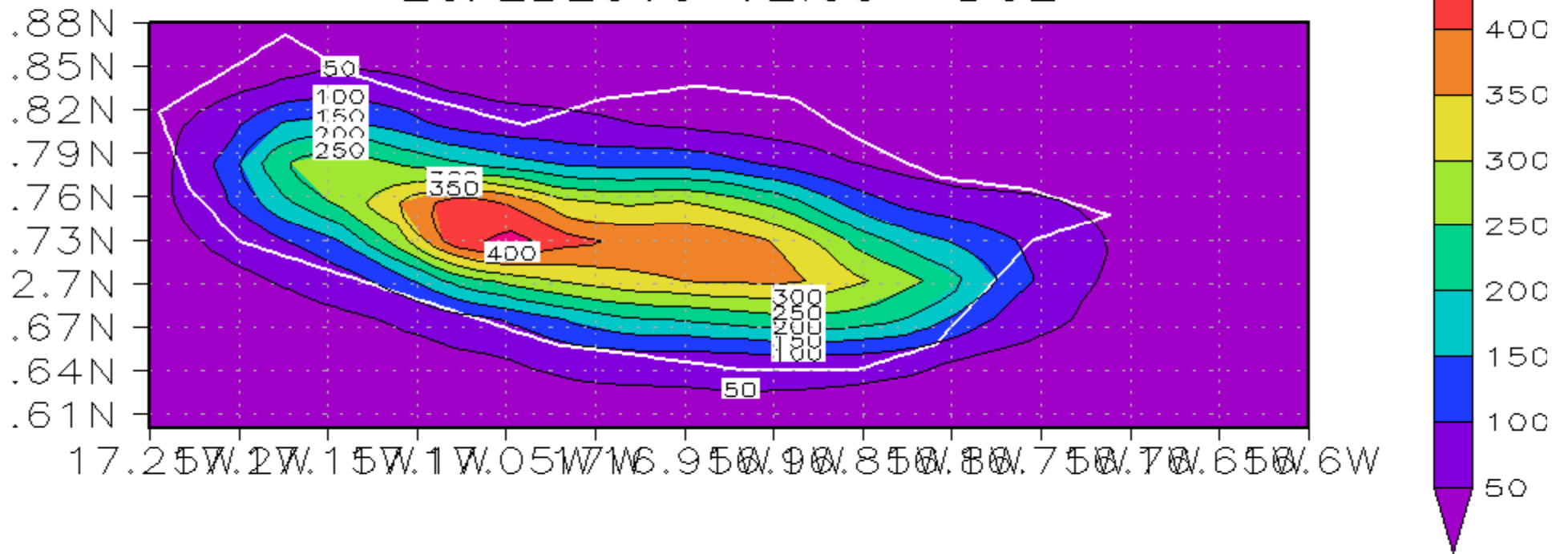
Previsões obtidas em 18 de Fevereiro
para as 72 horas (3) dias seguintes

Resolução de 3x3 km

Chuva (mm acumulados desde inicio)
18FEB2010 12:00 ' D02

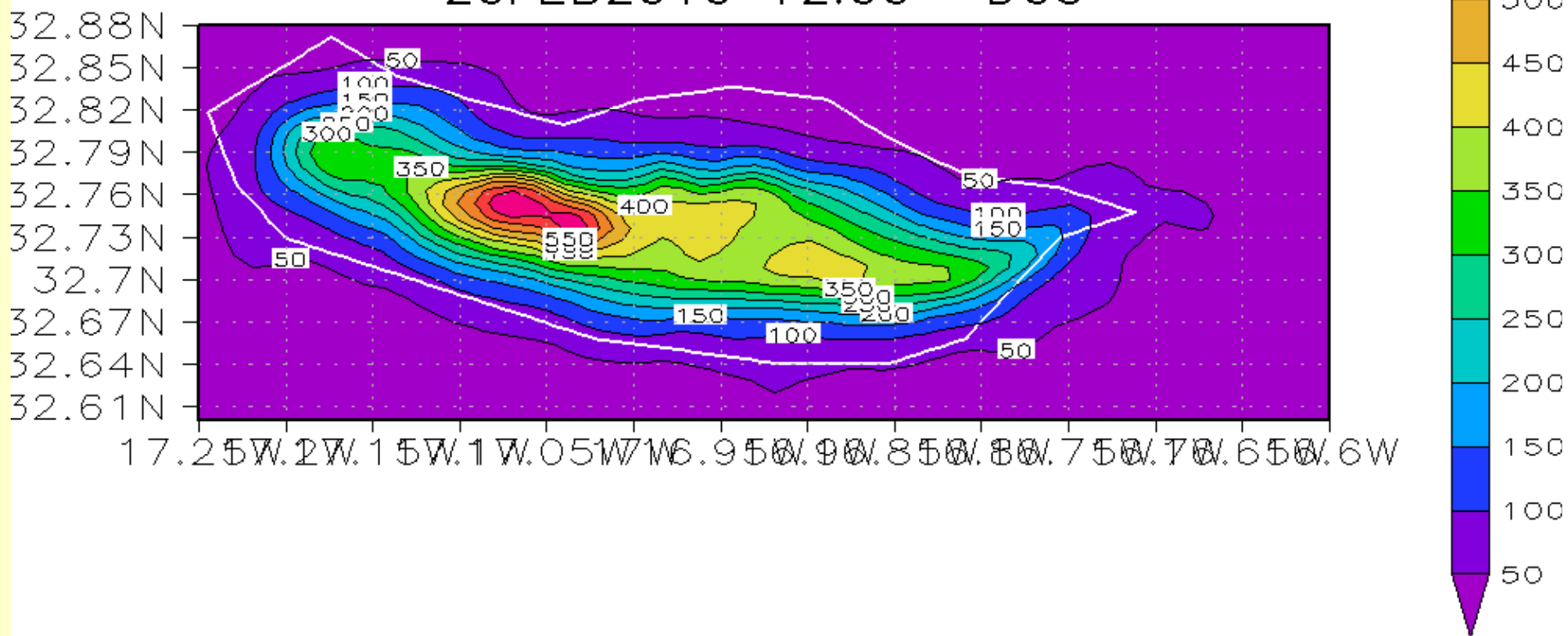


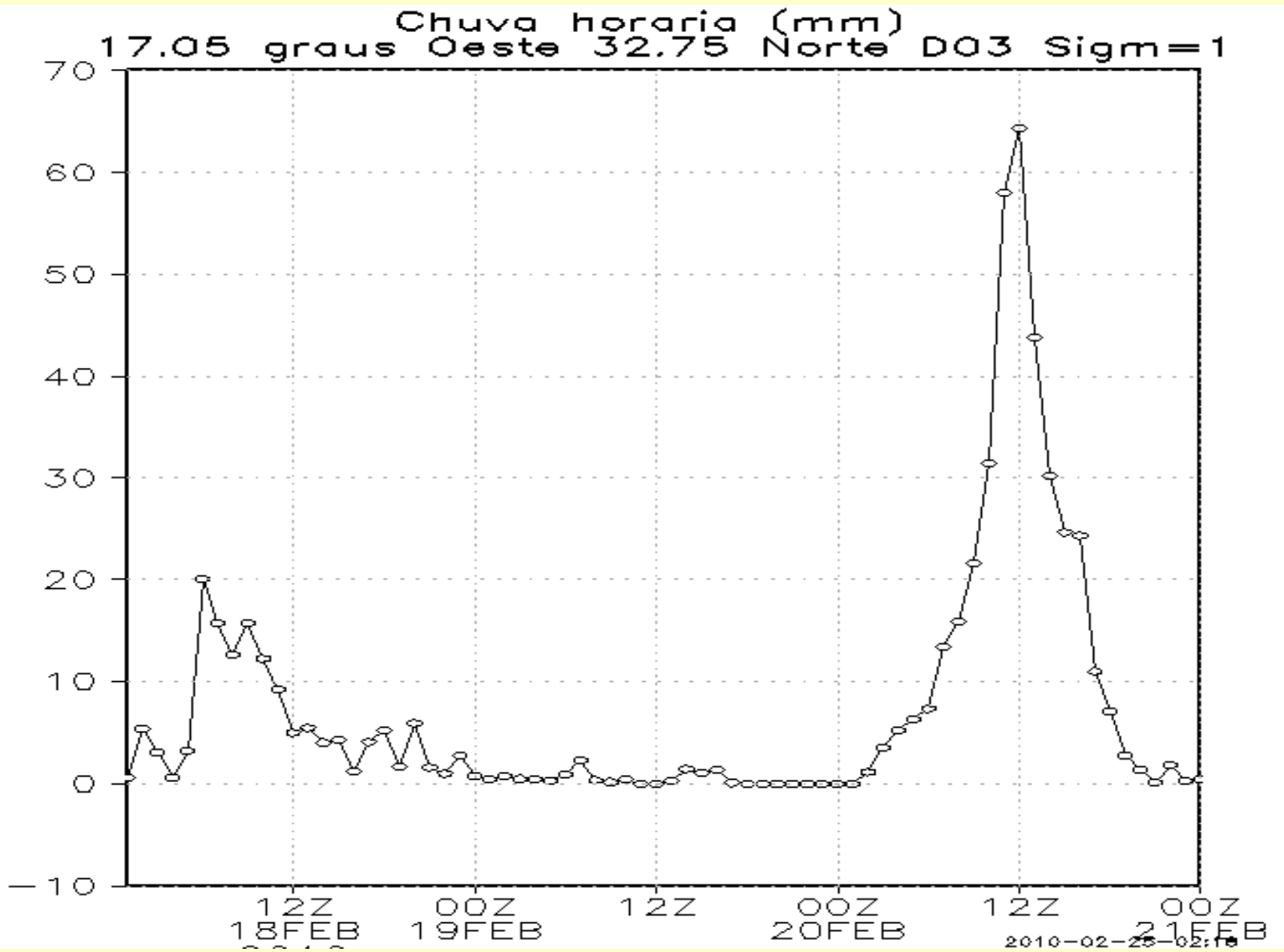
Chuva (mm acumulados desde inicio)
20FEB2010 12:00 ' D02

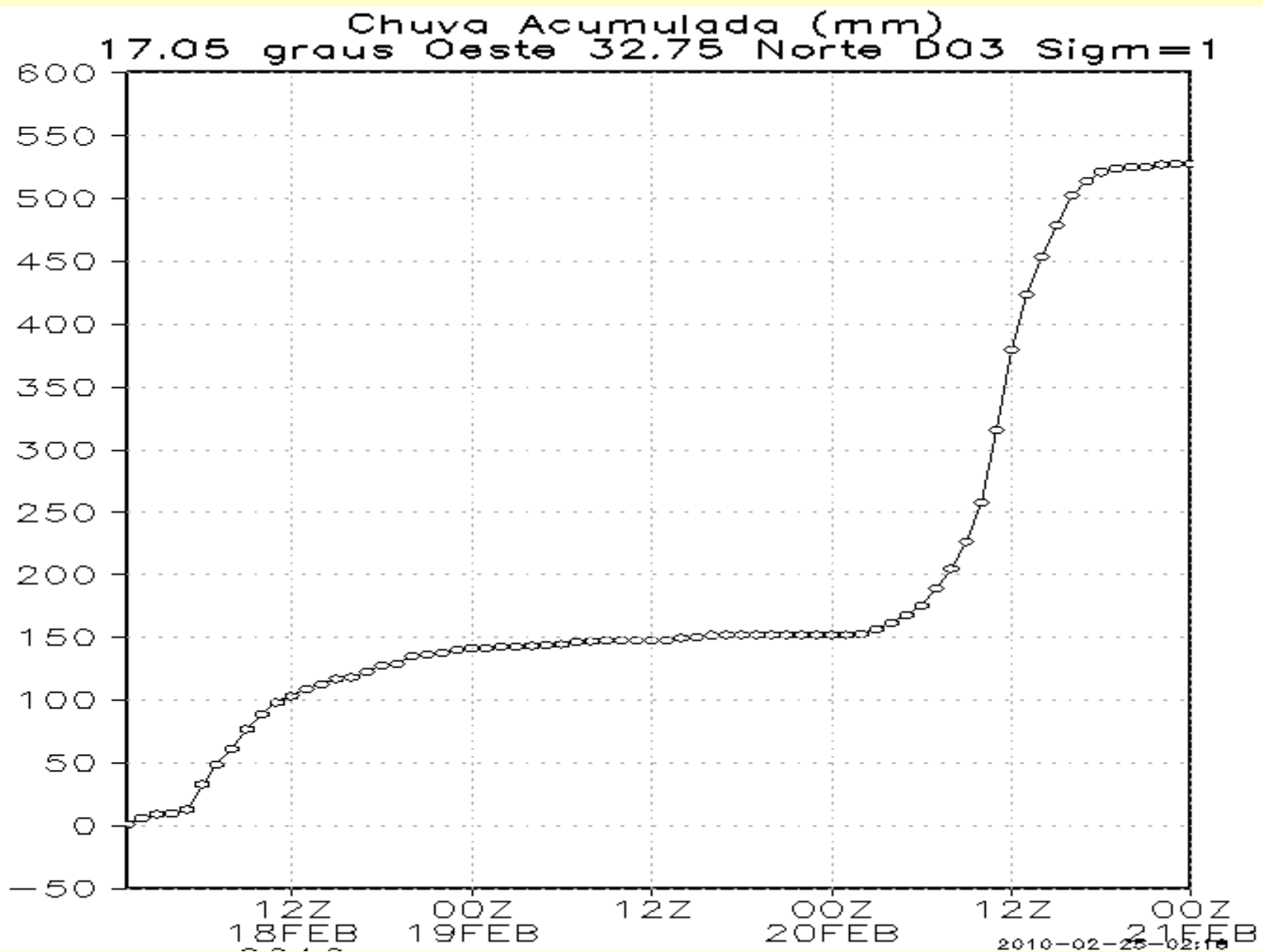


1 x 1 km

Chuva (mm acumulados desde inicio)
20FEB2010 12:00 ' D03







Síntese das conclusões “recusadas” pelo IM e ...

A situação meteorológica de dia 20 de Fevereiro poderia ter sido detectada dia 14 e confirmada repetidamente até ao dia 18 o que permitia toda a segurança na preparação e accionamento de medidas de emergência com pelo menos 3 dias de antecedência

Esta previsão operacional exigia uma resolução espacial mínima de 3x3km, e um cálculo por domínios aninhados, como no AWRF (ou MM5) utilizados operacionalmente no IST, devido à capacidade máxima disponível dos computadores utilizáveis.

Apesar de dispor de um supercomputador IBM e de um cluster, as exigências de calculo dos modelos utilizados pelo IM (ALADIN e AROME) não teriam permitido obter uma previsão com resolução espacial e **antecedência** semelhantes à do GPN.

Para a situação verificada, um Radar Meteorológico teria pouca utilidade e poderia mesmo ter induzido em erro

Confirmações
e
Informações
Posteriores

Localização das estações



Estação	Lat (N)	Lon (O)
Areeiro	32°43'	16°55'
Funchal/Obs	32°38'	16°53'

<http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/redes/redes.meteo/index.html>

O IM dá coordenadas arredondadas ao minuto, o que no caso do Areeiro dá próximo de outra estação com o mesmo nome, mas no caso do Funchal/Observatório dá no mar. Neste caso, utilizaram-se as coordenadas relativas à morada do Observatório.

Boletim Climatológico Fev 2010

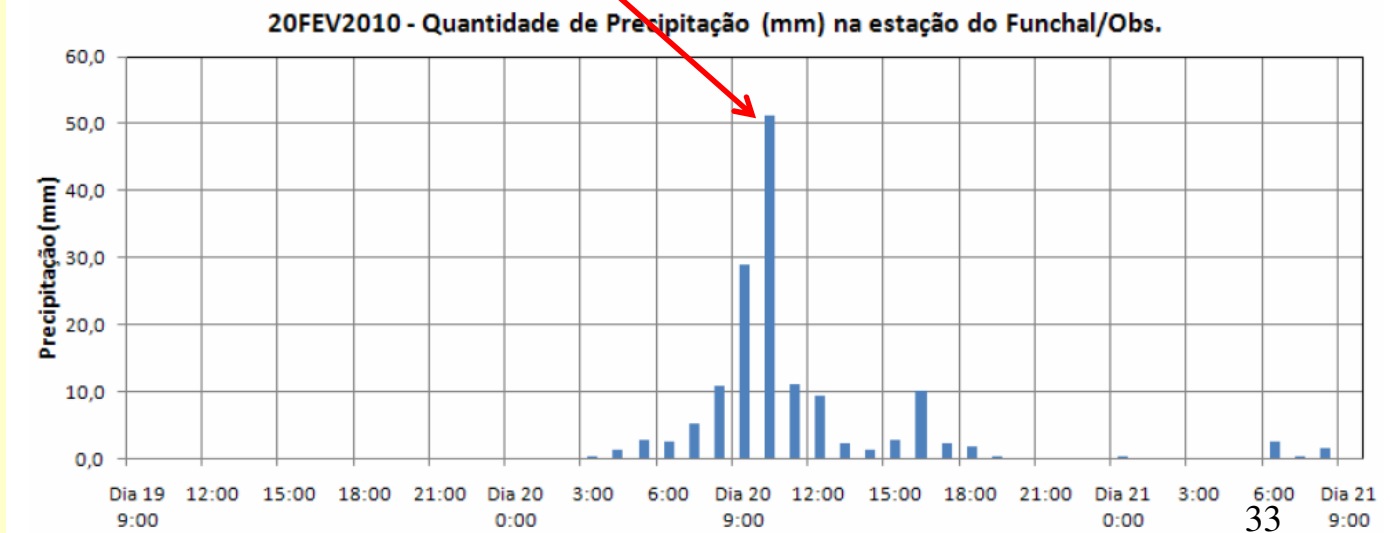
Tabela 4 - Precipitação (mm) no dia 20 de Fevereiro no Arquipélago da Madeira.

Estações	Máx 10 min	Período	Máx 1 hora	Período	Máx 6 horas	Período	Máx 12 horas	Período	Total 00h-24h
Porto Santo/Aeroporto	2.1	12:20/12:30	7.5	12:00/13:00	17.0	08:00/14:00	20.8	04:00/16:00	20.9
Funchal/Observatório	11.0	11:00/11:10	51.3	08:50/09:50	111.5	05:10/11:10	138.4	04:00/16:00	144.3
Lugar de Baixo/P. do Sol	6.6	09:00/09:10	38.7	08:10/09:10	89.8	05:10/11:10	93.7*	-	95.3*
Calheta/P. do Pargo	9.2	12:30/12:40	41.7	12:20/13:20	85.5	08:00/14:00	93.4	02:00/14:00	97.4
Santana/P. de São Jorge	2.0	11:40/11:50	8.8	11:30/12:30	17.9	09:50/15:50	19.5	06:00/18:00	20.0
Areeiro	15.4	11:00/11:10	78.5	08:50/09:50	272.1	08:50/14:50	372.4	04:00/16:00	387.1*
Santa Catarina/Aeroporto	10.0	09:50/10:00	20.0	10:00/11:00	-	-	-	-	52.9**
Canical/P. São Lourenço	8.6	10:50/11:00	21.3	10:00/11:00	40.5	05:00/11:00	42.2*	-	42.2*

(*) Lugar de Baixo/Ponta do Sol – Falha a partir das 12h; Areeiro – falha a partir das 18h; Canical – Falha a partir das 12h.

(**) Os dados da quantidade de precipitação acumulada diária da estação de Santa Catarina/Aeroporto referem-se aos dados entre as 09h de dia 20 de Fevereiro às 09h do dia 21 de Fevereiro.

Segundo o gráfico é 2 horas depois das 9:00 e uma hora antes das 12:00, ou seja 11:00, ou 09:50/10:50.



Boletim Climatológico Fev 2010

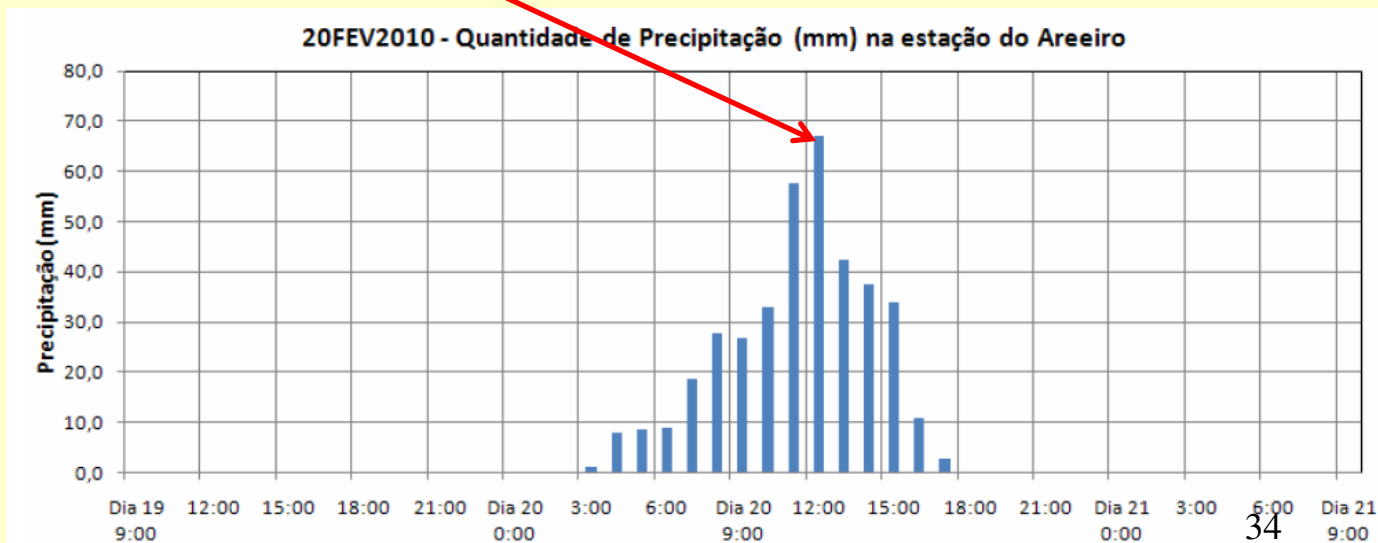
Tabela 4 - Precipitação (mm) no dia 20 de Fevereiro no Arquipélago da Madeira.

Estações	Máx 10 min	Período	Máx 1 hora	Período	Máx 6 horas	Período	Máx 12 horas	Período	Total 00h-24h
Porto Santo/Aeroporto	2.1	12:20/12:30	7.5	12:00/13:00	17.0	08:00/14:00	20.8	04:00/16:00	20.9
Funchal/Observatório	11.0	11:00/11:10	51.3	08:50/09:50	111.5	05:10/11:10	138.4	04:00/16:00	144.3
Lugar de Baixo/P. do Sol	6.6	09:00/09:10	38.7	08:10/09:10	89.8	05:10/11:10	93.7*	-	95.3*
Calheta/P. do Pargo	9.2	12:30/12:40	41.7	12:20/13:20	85.5	08:00/14:00	93.4	02:00/14:00	97.4
Santana/P. de São Jorge	2.0	11:40/11:50	8.8	11:30/12:30	17.9	09:50/15:50	19.5	06:00/18:00	20.0
Areeiro	15.4	11:00/11:10	78.5	08:50/09:50	272.1	08:50/14:50	372.4	04:00/16:00	387.1*
Santa Catarina/Aeroporto	10.0	09:50/10:00	20.0	10:00/11:00	-	-	-	-	52.9**
Canical/P. São Lourenço	8.6	10:50/11:00	21.3	10:00/11:00	40.5	05:00/11:00	42.2*	-	42.2*

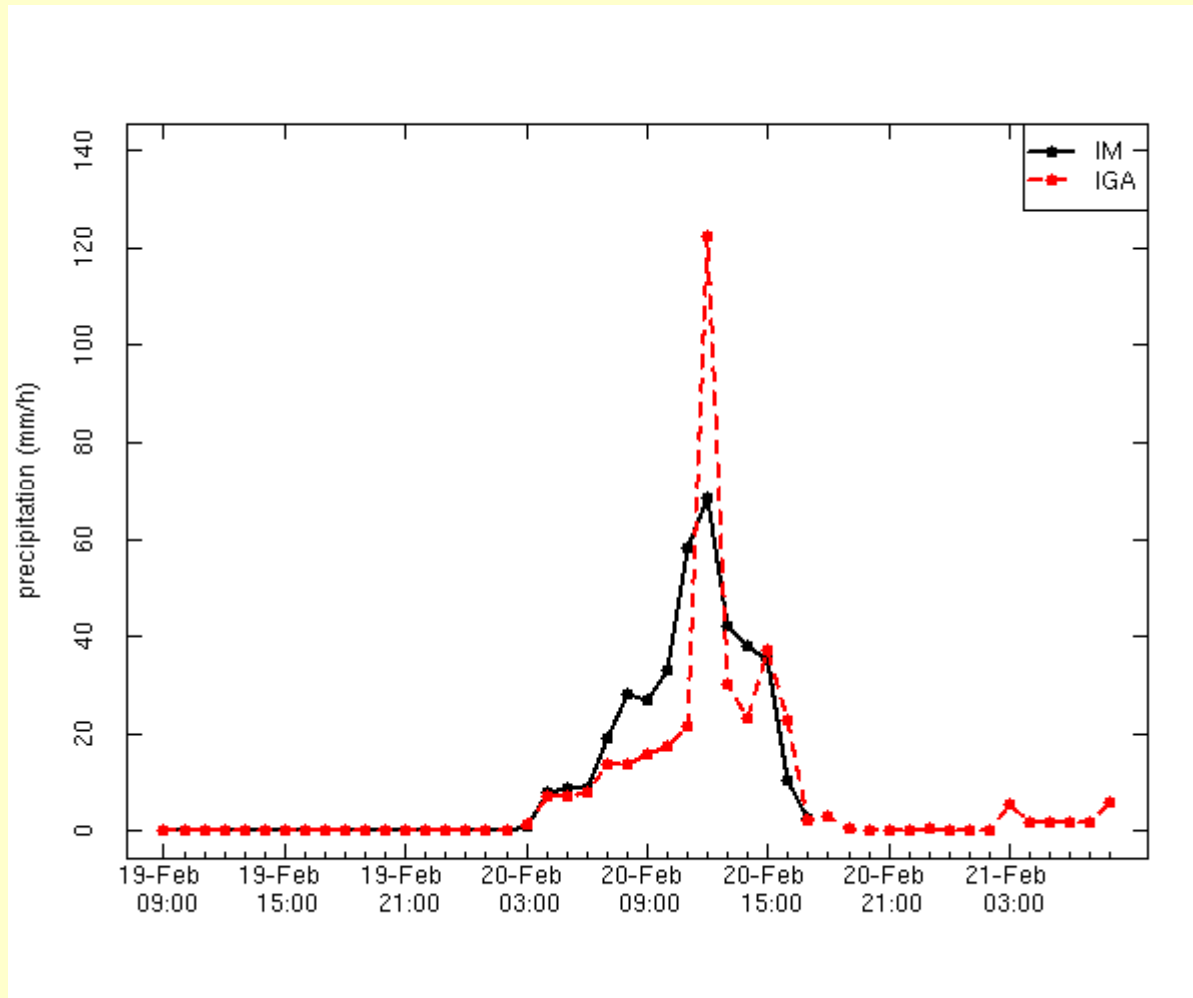
(*) Lugar de Baixo/Ponta do Sol – Falha a partir das 12h; Areeiro – falha a partir das 18h; Canical – Falha a partir das 12h.

(**) Os dados da quantidade de precipitação acumulada diária da estação de Santa Catarina/Aeroporto referem-se aos dados entre as 09h de dia 20 de Fevereiro às 09h do dia 21 de Fevereiro.

Segundo o gráfico o
 - Máx (1 hora) < 70 mm e não 78.5.
 - Máx (1 hora) ocorre depois das 12:00 e não às 08:50/09:50.



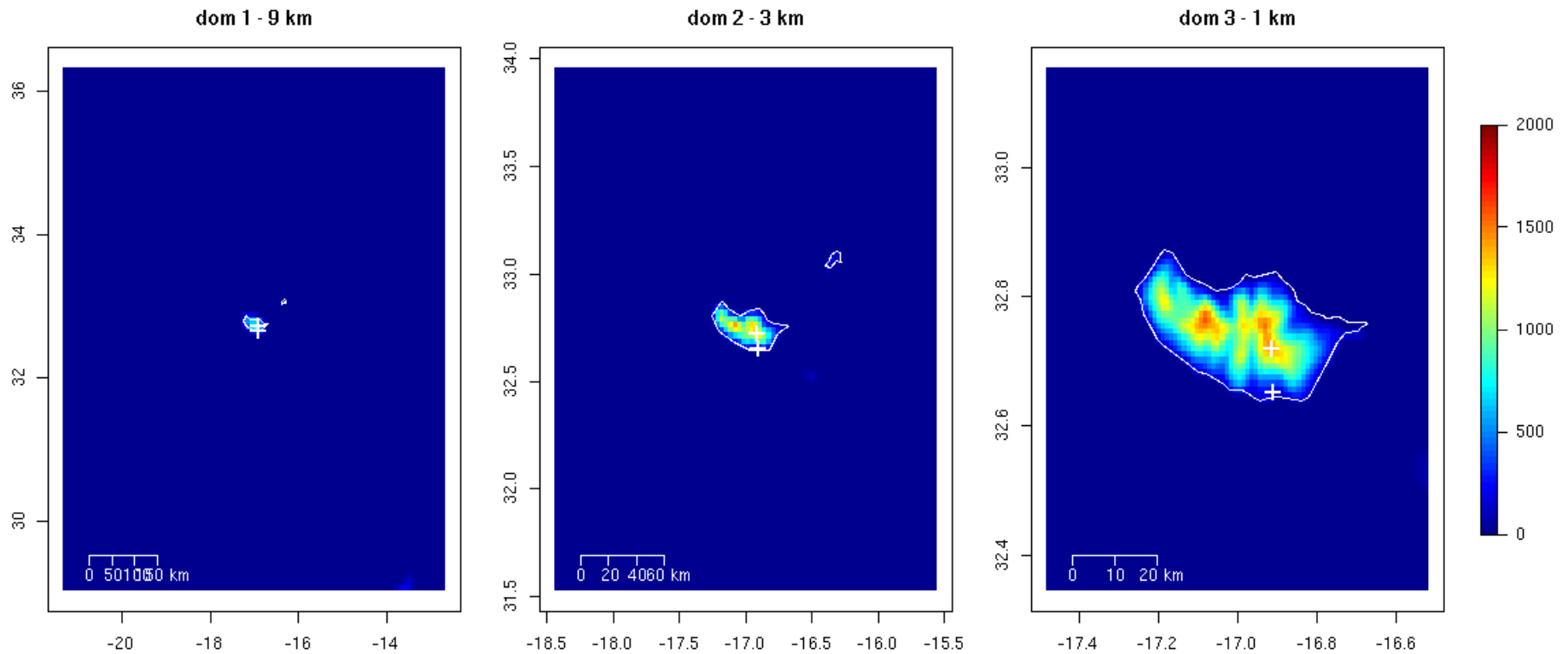
Areeiro



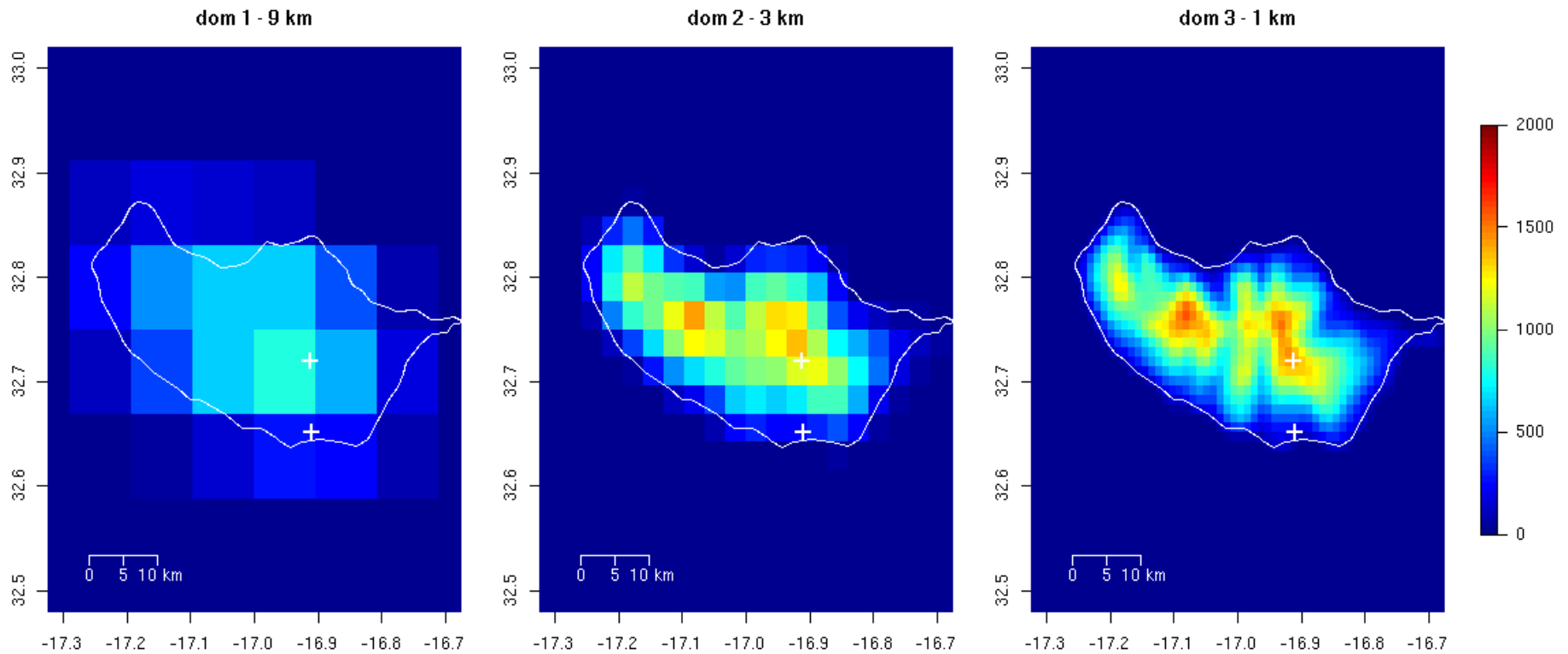
WRF

- As simulações divulgadas anteriormente utilizaram o AWRF-3.01
- AWRF-3.1 contem vários bugs...
- AWRF-3.2 (fomos testadores), foi divulgado em Abril. Problemas com compilador Intel ...

Domínios – 90x90



Domínios (zoom)



Previsões para o dia 20, WRF 3.2

Previsão mais recente

18_18_3km

18_12_3km

18_06_3km

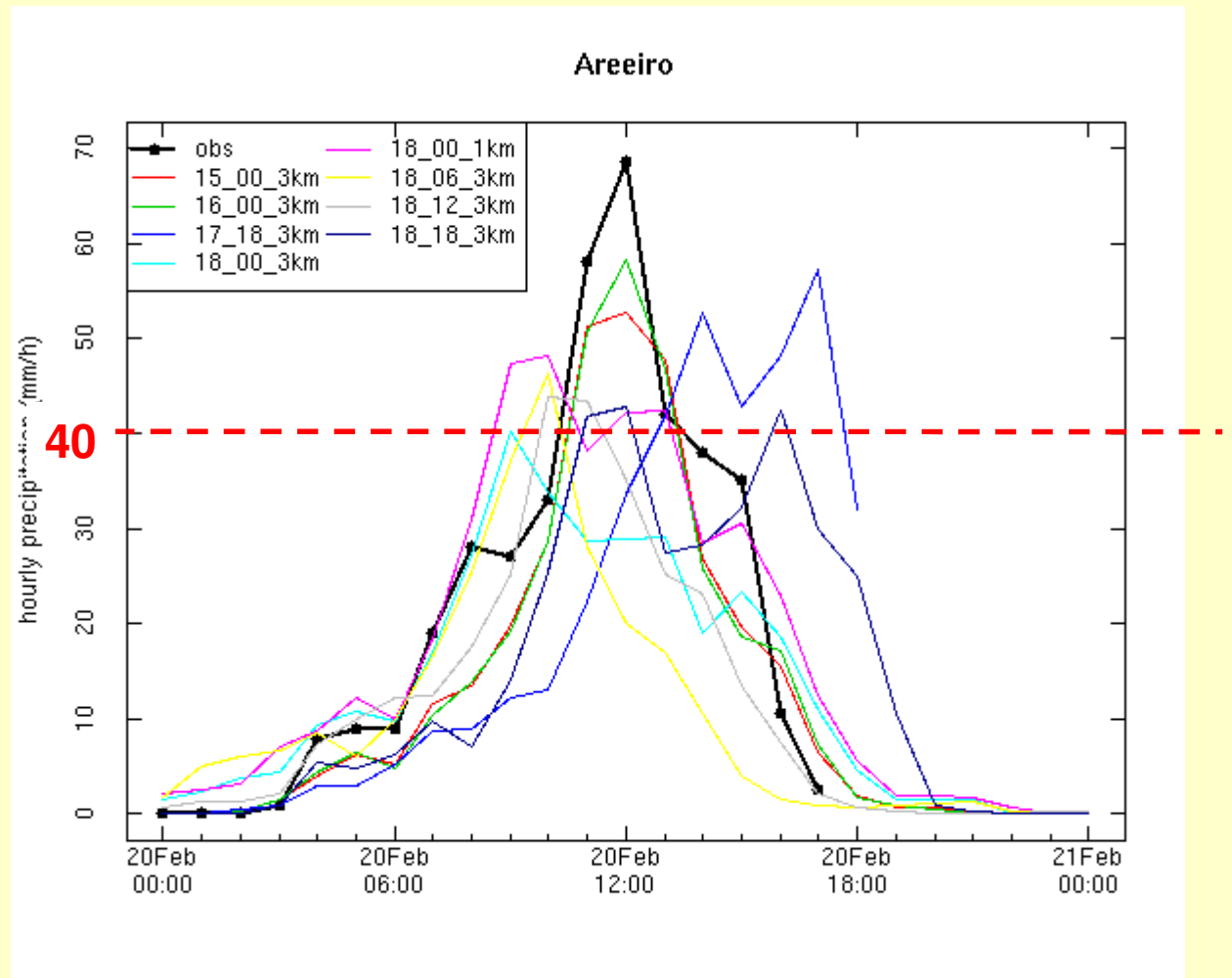
18_00_1km

18_00_3km

17_18_3km

16_00_3km

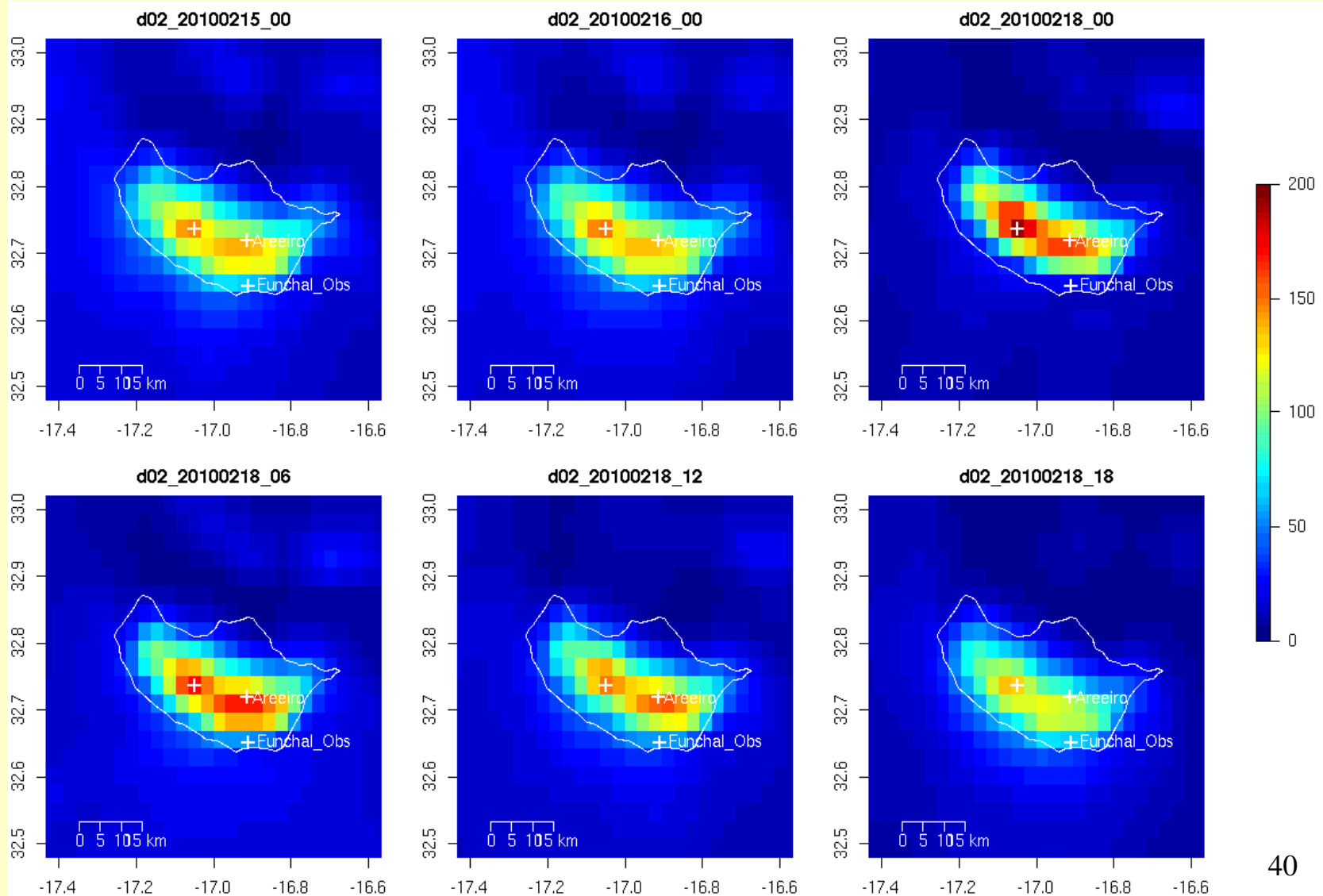
15_00_3km



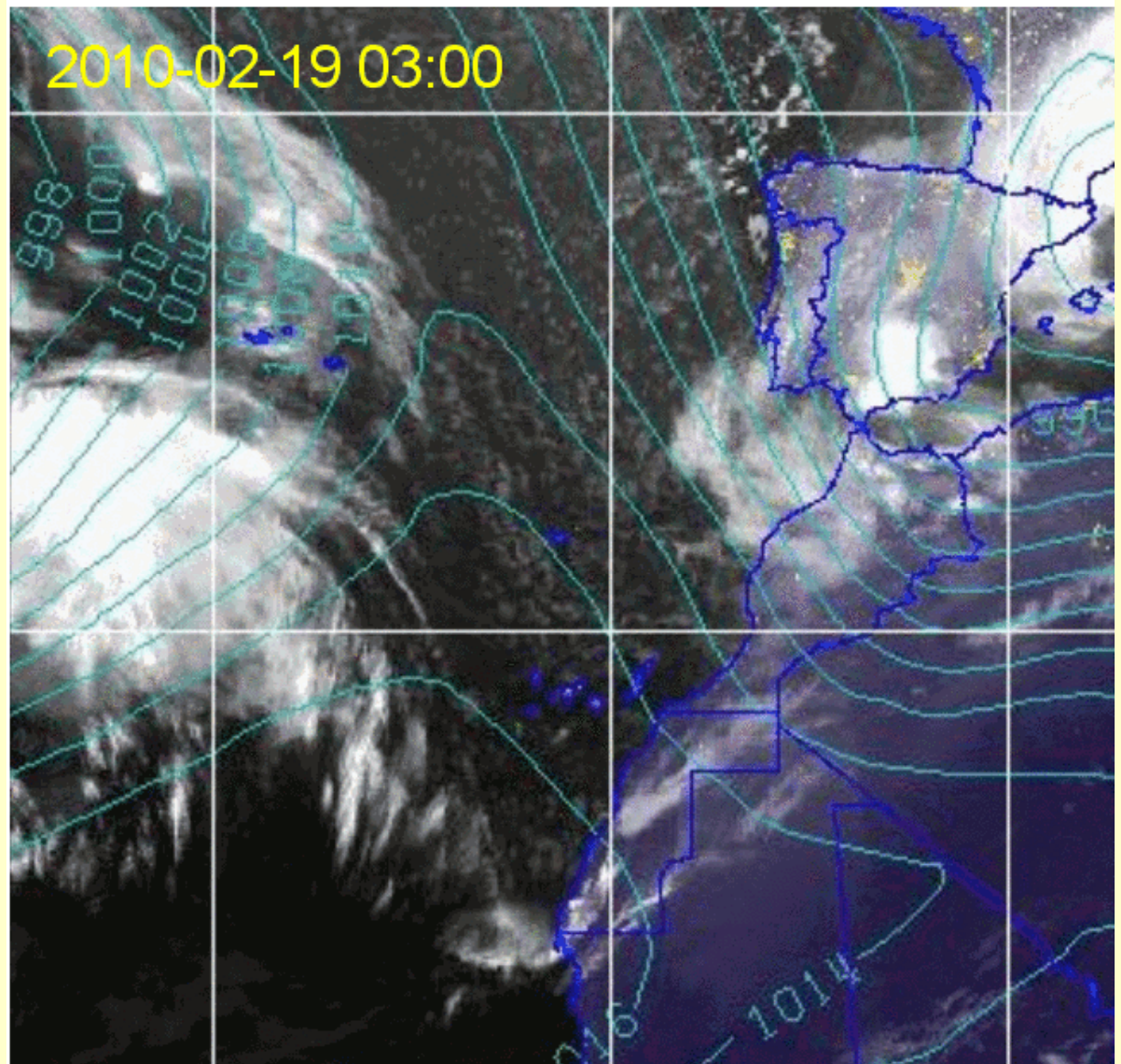
TODAS as previsões acima do alerta vermelho

Precipitação Acumulada 06-12h

Todas as previsões



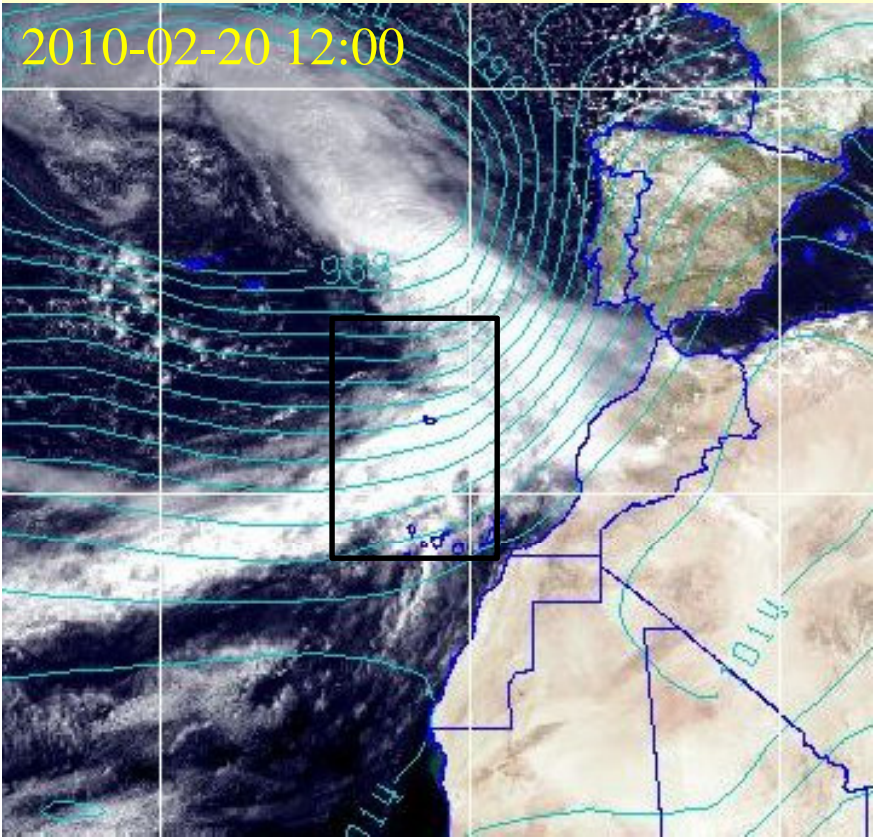
Composite VIS/IR (Day/Night)
Naval Research Lab MRY
Marine Meteorology Division
Monterey, California



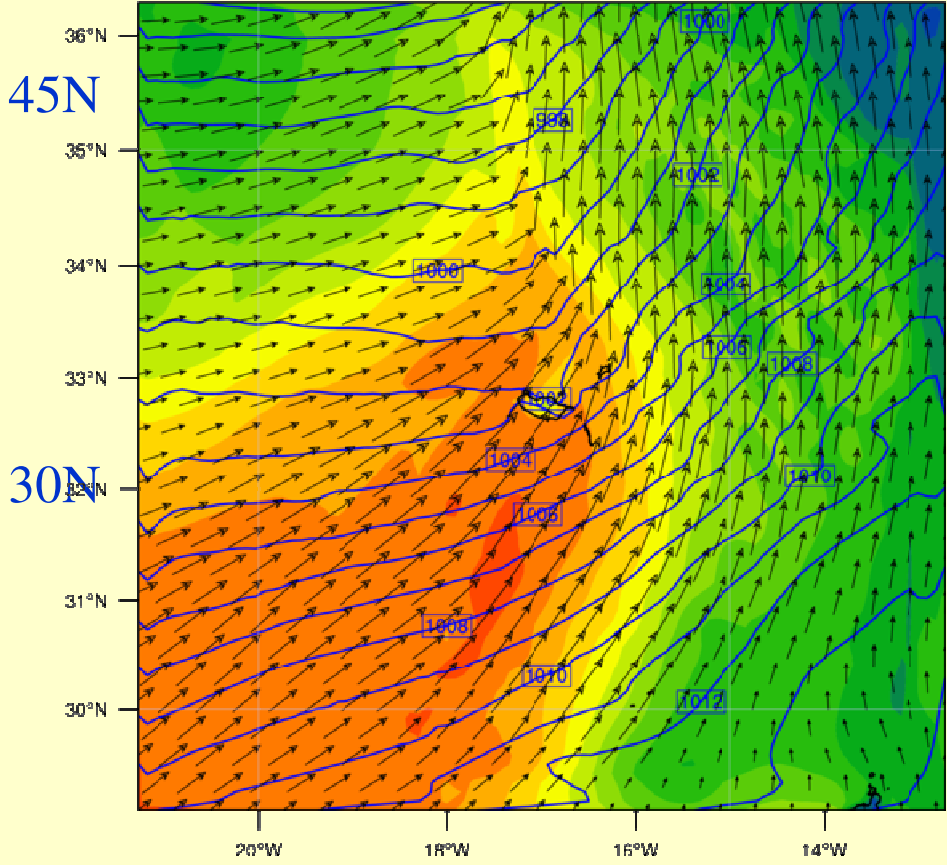
WRF (9km)

Init: 2010-02-15_00:03:00
Vaid: 2010-02-20 12:33:36

QV at 2 M (g/kg)
Sea Level Pressure (hPa)
10m Wind (m s-1)



30W 15W



Agradeço todos os comentários
(fundamentados) que:

- ponham em causa o fundamento de um aviso (interno) no dia 14 de Fevereiro para a gravidade do que se aproximava e
- de um alerta vermelho pelo menos no dia 18 (48 horas de antecedência).

OBRIGADO !