

RELATÓRIO TÉCNICO ITV DS

PREVISÕES METEOROLÓGICAS NO ITV DEDICADAS AO CORREDOR NORTE DA VALE: DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS, TESTES DE SENSIBILIDADE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Projeto Tempo & Clima

Relatório parcial

Douglas Batista da Silva Ferreira

Paulo Afonso Fischer Kuhn

Fabício de Oliveira Silva

Jair da Silva Ferreira Júnior

Juarez Ventura de Oliveira

Belém / PA

Novembro / 2020

Título: Previsões meteorológicas no ITV dedicadas ao Corredor Norte da Vale: desenvolvimento de rotinas, testes de sensibilidade e avaliação de desempenho.	
PROD. TEC. ITV DS - N0053/2020	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (X) Pública	00

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F383 Ferreira, Douglas Batista da Silva
 Previsões meteorológicas no ITV dedicadas ao Corredor Norte da Vale: desenvolvimento de rotinas, testes de sensibilidade e avaliação de desempenho. / Douglas Batista da Silva Ferreira, Paulo Afonso Fischer Kuhn, Fabrício de Oliveira Silva, Jair da Silva Ferreira Júnior, Juarez Ventura de Oliveira - Belém: ITV, 2020.

23 p.: il.

Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) - 2020
 PROD.TEC.ITV.DS. - N053/2020
 DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.53.Ferreira

1. Meteorologia - Modelagem numérica. 2. Meteorologia - Previsão do tempo. 3. Cadeia mineral - Corredor Norte, Vale.. I. Kuhn, Paulo Afonso Fischer. II. Silva, Fabrício Oliveira. III. Ferreira Júnior, Jair da Silva. IV. Oliveira, Juarez Ventura de. V. Título.

CDD 23. ed. 551.6098115

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 – 525

RESUMO EXECUTIVO

Com o objetivo de gerar previsões meteorológicas de curto prazo, foi desenvolvido pelo ITV um sistema de previsão de tempo focado para a cadeia mineral do Corredor Norte da Vale. O sistema é todo automatizado e foi criado em parceria com a Universidade Federal do Pará, com base em modelagem numérica regional e usando a infraestrutura de comutação de alto desempenho do ITV. O sistema de previsão de tempo disponibiliza diariamente boletins meteorológicos para diversos empregados da Vale, os quais podem fazer uso das previsões de precipitação e temperatura do ar para o planejamento logístico e operacional na cadeia de produção e exportação de minério, uma vez que o layout do boletim meteorológico foi definido estrategicamente sob medida para a Vale. Foram realizados testes de desempenho das previsões do ITV com as previsões de uma fonte externa, que é referência nacional em meteorologia. Os resultados apontaram que, qualitativamente, as previsões do ITV conseguem capturar com maior riqueza de detalhes as nuances locais e regionais dos sistemas atmosféricos indutores de mau tempo. Em termos quantitativos, ambas as bases de previsão apresentam erros sistemáticos de magnitude e precisam de correções. Testes de sensibilidade iniciais do modelo foram realizados no parâmetro de radiação, que é responsável, entre outras características, pelo disparo da convecção e formação de nebulosidade causadora de precipitação. Os resultados indicaram que a diminuição no *time-step* não representou mudanças significativas na distribuição espacial da precipitação, mas sim na intensidade. Para a continuação do projeto de pesquisa e desenvolvimento, recomenda-se o aprofundamento nos testes de sensibilidade do modelo, visando a melhoria das previsões de precipitação para a região do Corredor Norte da Vale.

RESUMO

As atividades logísticas e operacionais da Vale ao longo do Corredor Norte são episodicamente expostas aos fenômenos atmosféricos indutores de mau tempo, que impactam de maneira direta da produção mineral e na segurança dos empregados. Como os fenômenos naturais não podem ser evitados, mas previstos, a modelagem numérica em meteorologia surge como uma ferramenta poderosa, capaz de prognosticar com detalhamento local, em um horizonte temporal de curto prazo (poucos dias), o estado futuro das principais variáveis atmosféricas relevantes para as operações da Vale, como a precipitação, a temperatura e o vento. O presente relatório técnico apresentou os resultados do desenvolvimento de um sistema autônomo de previsão de tempo, com foco para a cadeia mineral e com vistas a geração de um boletim meteorológico diário disponibilizado diariamente aos empregados do Corredor Norte da Vale. Ao longo do texto, foi apresentado o passo-a-passo das rotinas de previsão de tempo realizadas no ITV para a Vale. As simulações foram comparadas com as previsões de uma fonte externa, que realiza atividade similar, porém com foco para o Brasil. Os resultados evidenciaram que as previsões de precipitação do ITV conseguem identificar com maior detalhamento as características dos sistemas atmosféricos regionais e locais. Em termos qualitativos, as previsões do ITV são sensivelmente melhores quando comparadas com as previsões da fonte externa. Em termos quantitativos, ambas as bases de previsão por modelagem apresentam erros de magnitude e problemas de viés em ocorrência de eventos extremos pluviométricos. Adicionalmente, foram realizados testes de sensibilidade do modelo, os quais demonstraram que pequenas alterações no parâmetro de radiação do modelo acarretam na mudança dos padrões de nebulosidade simulada e, conseqüentemente, na distribuição espacial da precipitação convectiva. Para os próximos passos do projeto, recomenda-se que os testes de sensibilidade sejam explorados de modo mais aprofundado, com a realização de novos dados de input no modelo, alterações em outros parâmetros físicos e representação das mudanças no uso e cobertura do solo mais próximas ao estado atual na região do leste da Amazônia. Em suma, os resultados apresentados no relatório técnico tornaram evidente que a modelagem numérica é capaz de gerar informações úteis em meteorologia para as tomadas de decisões da Vale no âmbito logístico e operacional. Além disso, as pesquisas em modelagem numérica em meteorologia caracterizam um avanço significativo nas pesquisas científicas em meteorologia para a região.

Palavras-chave: Modelagem numérica em meteorologia. Previsão de tempo. Cadeia mineral. Corredor Norte da Vale.

ABSTRACT

Vale's logistical and operational activities along the North Corridor are episodically exposed to atmospheric phenomena that induce bad weather, which directly impact mineral production and the safety of employees. As natural phenomena cannot be avoided, but foreseen, the numerical modeling in meteorology represent a powerful tool, able to predict with local detail, in a short term time horizon (a few days), the future state of the main atmospheric variables relevant to Vale's operations, such as precipitation, temperature and wind. This technical report presents the results of the development of an autonomous weather forecasting system, with a focus on a mineral chain and with a view to generating a daily meteorological bulletin made available daily to employees in the Northern Corridor of Vale. Throughout the text, the step-by-step of the weather forecasting routines performed at ITV for Vale was presented. The simulations were compared with predictions from an external source, which performs a similar activity, but with a focus on Brazil. The results showed that the ITV precipitation forecasts were able to identify in more details the features of regional and local atmospheric systems. In qualitative terms, ITV's forecasts are significantly better when compared to forecasts from an external source. In quantitative terms, both modeling bases show errors of magnitude and bias problems in the occurrence of extreme rainfall events. In addition, were performed sensitivity tests of the model, which demonstrated that small changes in the model's radiation parameter lead to a change in simulated cloud patterns and, consequently, in the spatial distribution of the convective precipitation. For the next steps of the project, it is recommended that the sensitivity tests be explored in more depth, with the realization of new input data in the model, changes in other physical parameters and representation of changes in the land use and cover to the current state in the eastern Amazon region. In short, the results obtained in the technical report made it evident that numerical modeling is capable of generating useful information in meteorology for Vale's decision-making in the logistical and operational spheres. In addition, research in numerical modeling in meteorology characterizes a significant advance in scientific research in meteorology for the region.

Keywords: Numerical Modelling in Meteorology, Weather Forecast, Mineral Chain, Northern Corridor of Vale

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Fotografia do cluster HPe Apollo K6000 do ITV.	09
Figura 2 -	Ilustração em fluxograma da estrutura do sistema de previsão numérica de tempo no ITV usando o modelo regional WRF.	13
Figura 3 -	Boletim meteorológico do ITV, disponibilizado por e-mail no dia 20/11/2020, aos empregados da Vale ao longo do Corredor Norte.	15
Figura 4 -	Precipitação prevista WRF (mm/dia) e a precipitação observada CPC (mm/dia) para (a) o experimento controle e (b) o teste com o parâmetro de radiação, para as primeiras 24h de previsão do dia 26/04/2020.	17
Figura 5 -	Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 22/04/2020.	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	JUSTIFICATIVA	8
3	OBJETIVOS	8
4	ESTRUTURA COMPUTACIONAL DO ITV – CLUSTER HPE APOLLO K6000 ...	9
5	DESCRIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO REGIONAL	9
6	DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS DE PREVISÃO DO TEMPO	11
6.1	RODADAS COM O MODELO WRF.....	11
6.2	DISPONIBILIZAÇÃO DAS PREVISÕES DE CURTO PRAZO	12
6.3	O BOLETIM METEOROLÓGICO DO ITV	13
7	TESTES DE SENSIBILIDADE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	15
7.1	MUDANÇA NA FÍSICA DE RADIAÇÃO	15
7.2	PREVISÃO ITV X PREVISÃO DE FONTE EXTERNA	17
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
	REFERÊNCIAS	23
	APÊNDICE A1-A36	24
	APÊNDICE B1-B38	41

1 INTRODUÇÃO

A Vale SA, uma das maiores empresas mineradoras globais e operadoras de logística do mundo, é líder em produção de minério de ferro, pelotas e níquel. Para que os produtos cheguem até o seu destino, a produção é escoada das áreas de mina por meio de ferrovias, até chegarem ao porto, onde o minério é estocado para serem embarcados nos porões dos navios (VALE, 2020).

Para que o minério seja embarcado com qualidade e mantendo os padrões de segurança para a navegabilidade, o teor de umidade deve ser inferior a um limiar, chamado *Transportable Moisture Limit* (TML) (MUNRO; MOHAJERANI, 2014). O TML do minério sofre variações ao longo do transporte até chegar aos porões dos navios. Tais variações estão associadas, entre outros fatores, às condições meteorológicas como a insolação, a taxa de evaporação e, principalmente a precipitação, uma vez que a Vale realiza suas principais atividades da cadeia mineral a céu aberto, tornando as suas operações logísticas frequentemente expostas aos fenômenos atmosféricos indutores de mau tempo.

Particularmente no leste da Amazônia, a Vale possui grande parte da sua produção mineral no Complexo Minerio-Logístico de Carajás, no sudeste do Pará escoada pela Estrada de Ferro Carajás (EFC) até o Terminal Marítimo Ponta da Madeira (TMPM) (VALE, 2020). Essa cadeia mineral está localizada em uma região com período chuvoso bem definido, no qual sistemas atmosféricos atuam em diversas escalas e impactam diretamente nos processos operacionais da Vale, com chuvas fortes e duradouras, rajadas de vento e incidência de raios.

Como os fenômenos naturais não podem ser evitados, mas podem ser previstos, as pesquisas e os avanços em meteorologia têm permitido cada vez mais o conhecimento do estado futuro da atmosfera. Registros observacionais, sensores, estações meteorológicas, radar meteorológico e outras técnicas de monitoramento têm demonstrado serem eficazes ao diagnosticar o comportamento das variáveis atmosféricas.

Neste sentido, a modelagem numérica em meteorologia, surge como uma ferramenta robusta e capaz de prever variáveis meteorológicas relevantes para as operações da Vale. Os modelos numéricos são compostos por equações físicas e matemáticas, escritas em linguagem computacional, integradas no tempo de modo a simular as características do sistema climático da Terra (HOLTON, 2005). Geralmente, os modelos são de código livre, o que permite a sua adaptação para qualquer parte do planeta, alterando os parâmetros físicos e as características de cada região para a qual é feita a previsão (JACOBSON, 1999; LIOU, 1980).

Assim, ajustar um modelo numérico em meteorologia e sistematizar as previsões para a cadeia mineral da Vale têm potencial para suprir a ausência de informações sobre o estado futuro da atmosfera, em um horizonte de curto prazo (poucos dias). Além disso, realizar pesquisa científica em modelagem numérica em meteorologia aplicada representa um fator inovador para a indústria mineral da Vale, especialmente no Corredor Norte, localizado no leste da Amazônia, onde as informações meteorológicas são escassas.

Portanto, o presente relatório técnico visa descrever os resultados da pesquisa e desenvolvimento pelo Instituto Tecnológico Vale (ITV) em modelagem numérica para a previsão de tempo meteorológico, com foco para o Corredor Norte da Vale. Em um primeiro momento serão apresentadas as etapas para a geração das previsões meteorológicas, enquanto o segundo momento abordará os primeiros testes de sensibilidade do modelo numérico regional.

2 JUSTIFICATIVA

As atividades logísticas e operacionais da Vale ao longo do Corredor Norte ocorrem a céu aberto e estão sujeitas aos impactos das condições atmosféricas, como chuvas fortes, rajadas de vento, incidência de raios, nevoeiros, os quais podem desencadear acidentes e até mesmo fatalidades.

Para o conhecimento prévio dos eventos meteorológicos adversos, a modelagem numérica regional representa uma importante ferramenta, capaz de gerar previsões de variáveis meteorológicas, com detalhamento espaço-temporal na escala da mineração, da ordem de poucos quilômetros.

A partir disso, o avanço na pesquisa e desenvolvimento de produtos como boletins meteorológicos, contendo mapas, gráficos, tabelas e demais tipos de disponibilização das informações, podem contribuir positivamente para a otimização dos processos produtivos na cadeia mineral da Vale, além de aumentar a segurança dos empregados.

3 OBJETIVOS

O objetivo principal do presente relatório técnico é apresentar os resultados da pesquisa e desenvolvimento em modelagem numérica regional no Instituto Tecnológico Vale (ITV) com foco na região do Corredor Norte da Vale. Adicionalmente, serão apresentados os resultados iniciais dos testes de sensibilidade no modelo, visando o melhor desempenho nas previsões de precipitação.

4 ESTRUTURA COMPUTACIONAL DO ITV – CLUSTER HPE APOLLO K6000

Para que as simulações computacionais em meteorologia sejam geradas em um curto intervalo de tempo, de modo a possibilitar o uso das informações previstas por parte dos empregados da Vale, foi utilizado a estrutura do *cluster* HPe Apollo K6000 (Figura 1). Um *cluster* é um conjunto de computadores que executam tarefas em paralelo, a fim de otimizar o tempo de processamento e a qualidade de resultados em trabalhos computacionais que demorariam muito mais tempo sendo rodados em computadores de mesa. O supercomputador HPe Apollo K6000 é composto por 24 blades (computadores) com 672 processadores Intel Xeon (R) Gold 2.2Ghz, um total de 4,5 TB de memória RAM, além de nodos de administração, todos com Sistema Operacional SuSE 15, com capacidade de processamento de 22 Teraflops, conectado a um *storage* com área disponível para até 540 TB de dados.

Figura 1 - Fotografia do *cluster* HPe Apollo K6000 do ITV.



Fonte: próprio autor (2020).

5 DESCRIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO REGIONAL

O *Weather Research and Forecasting* (WRF) é um modelo numérico regional usado mundialmente tanto para a pesquisa, quanto para a previsão de tempo operacional. Os suportes do WRF são feitos por uma comunidade, uma vez que o modelo é de código livre e

compartilhado, com desenvolvimento distribuído e suporte centralizado (SKAMAROCK *et al.*, 2008).

Inicialmente, o WRF foi desenvolvido com a liderança do *National Center For Atmospheric Research* (NCAR), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) / *Earth System Research Laboratories* (ESRL), NOAA / *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) / *Environmental Modeling Center* (EMC), em parceria com *Air Force Weather Agency* (AFWA), *Federal Aviation Administration* (FAA), *Department of Energy* (DOE) / *Pacific Northwest National Laboratory* (PNNL) e colaborações com universidades e outras agências do governo norte-americano e no exterior.

Para os pesquisadores, o WRF pode produzir simulações com base nas condições atmosféricas reais (ou seja, a partir de observações e análises) ou condições idealizadas. O WRF oferece previsão operacional de uma plataforma flexível e computacionalmente eficiente, enquanto reflete os avanços recentes em física, numéricos e assimilação de dados, contribuídos por desenvolvedores da comunidade de pesquisa em expansão. O WRF está atualmente em uso operacional no NCEP e em outros centros meteorológicos nacionais, bem como em configurações de previsão em tempo real em laboratórios, universidades e empresas.

O WRF possui duas soluções dinâmicas na estrutura do seu software, o ARW (*Advanced Research WRF*), desenvolvido no NCAR, e o NMM (*Nonhydrostatic Mesoscale Model*), desenvolvido no NCEP.

Os componentes do sistema de modelagem com o WRF consistem na fase de pré-processamento por meio do WPS (*WRF Pre-Processing System*), baseado na interpolação de dados reais para as rodadas de previsão numérica de tempo e no programa que adiciona mais observações na análise do modelo; na fase de processamento do modelo WRF, que inclui a inicialização de programas para dados idealizados e reais (*real.exe* e *ideal.exe*) e um programa para a integração numérica (*wrf.exe*); além dos módulos separados para assimilação de dados WRFDA (*WRF Data Assimilation*), módulo para análise química do modelo (WRF-Chem) e modelos de floresta para incêndios florestais (WRF-Fire). Essas etapas são consolidadas na fase de pós-processamento e visualização, que pode ser feito por uma série de ferramentas.

6 DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS DE PREVISÃO DO TEMPO

6.1 RODADAS COM O MODELO WRF

Um dos propósitos das simulações numéricas de tempo com o modelo WRF é gerar um boletim meteorológico diário, no formato de arquivo em PDF (*Portable Document Format*), que é disponibilizado autonomamente por e-mail aos empregados da Vale locados no Corredor Norte.

Neste sentido, a Figura 2 mostra o esquema elaborado para gerar o boletim meteorológico do ITV, onde a automação de todos os processos ocorre com a utilização de scripts escritos na linguagem SHELL¹, exceto a última etapa que conta com uma aplicação em JAVA². Todos os scripts em Shell foram desenvolvidos especificamente para o propósito deste projeto, incluindo os programas de pós-processamento utilizando o software *Grid Analysis and Display System - GrADS*³ que foram escritos para gerar as imagens e extrair os dados que integrarão o boletim meteorológico do ITV. A linguagem Shell foi adotada em virtude de sua praticidade, facilidade de entendimento, por ser nativa ao Sistema Operacional instalado no *cluster* HPe Apollo K6000, que é uma solução robusta em HPC (da língua inglesa leia-se Computação de Alto Desempenho) que conta com 672 núcleos computacionais executando rotinas em paralelo (ver seção 4).

No caso das rotinas estabelecidas na proposta deste projeto, com exceção dos processos de transferência dos dados iniciais oriundos do GFS (*Global Forecast System*) e do envio do boletim, todas as demais etapas são executadas usando vários processadores, sendo que a etapa da modelagem numérica utiliza 420 núcleos computacionais. O custo computacional para cumprir todas etapas é da ordem de 2 horas, sendo que a obtenção dos dados iniciais consome metade deste tempo devido ao seu volume total em bytes, cerca de 7,7Gb. Para este processo utiliza-se um fragmento de um script na linguagem PYTHON⁴ incorporado em um script em Shell que é capaz de verificar a existência e consistência dos dados transferidos.

O processamento da modelagem numérica envolve alguns processos que são inerentes ao modelo WRF⁵, que consiste basicamente no pré-processamento e no processamento propriamente dito. Na primeira fase é dividida em três partes, onde a primeira (*Geogrid*) é responsável por preparar as condições de contorno como topografia, vegetação, tipos de solo,

¹ <https://www.gnu.org/software/bash/>

² https://www.java.com/pt_BR/about/whatis_java.jsp

³ <http://opengrads.org>

⁴ <https://docs.conda.io/en/latest/miniconda.html>

⁵ <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

e demais características da região para a qual se pretende executar o modelo, e mais duas fases (*Ungrib* e *Metgrid*) que consistem, basicamente, na conversão de formato dos arquivos obtidos para que o modelo possa ler. A segunda fase por sua vez é executada em duas etapas, onde a primeira etapa (*real.exe*) converte para o formato do modelo as informações referentes às condições de contorno de superfície, enquanto que a etapa seguinte (*WRF.exe*) é a execução do modelo e que utiliza processamento massivo através de 420 núcleos computacionais.

O pós-processamento consiste em três etapas, sendo que a primeira (ARW) é executada em paralelo e consiste em converter os arquivos gerados pelo modelo para o formato que o GrADS possa ler, isto é, em vários arquivos binários (.dat) e um arquivo descritor (.ctl). Após esta etapa é executado o script em Shell que escreve e executa os scripts do GrADS (.gs), em seguida ocorre a geração do boletim meteorológico que é feito usando um script em Shell que usa o ImageMagick⁶ para criar o layout e a conversão para o formato PDF.

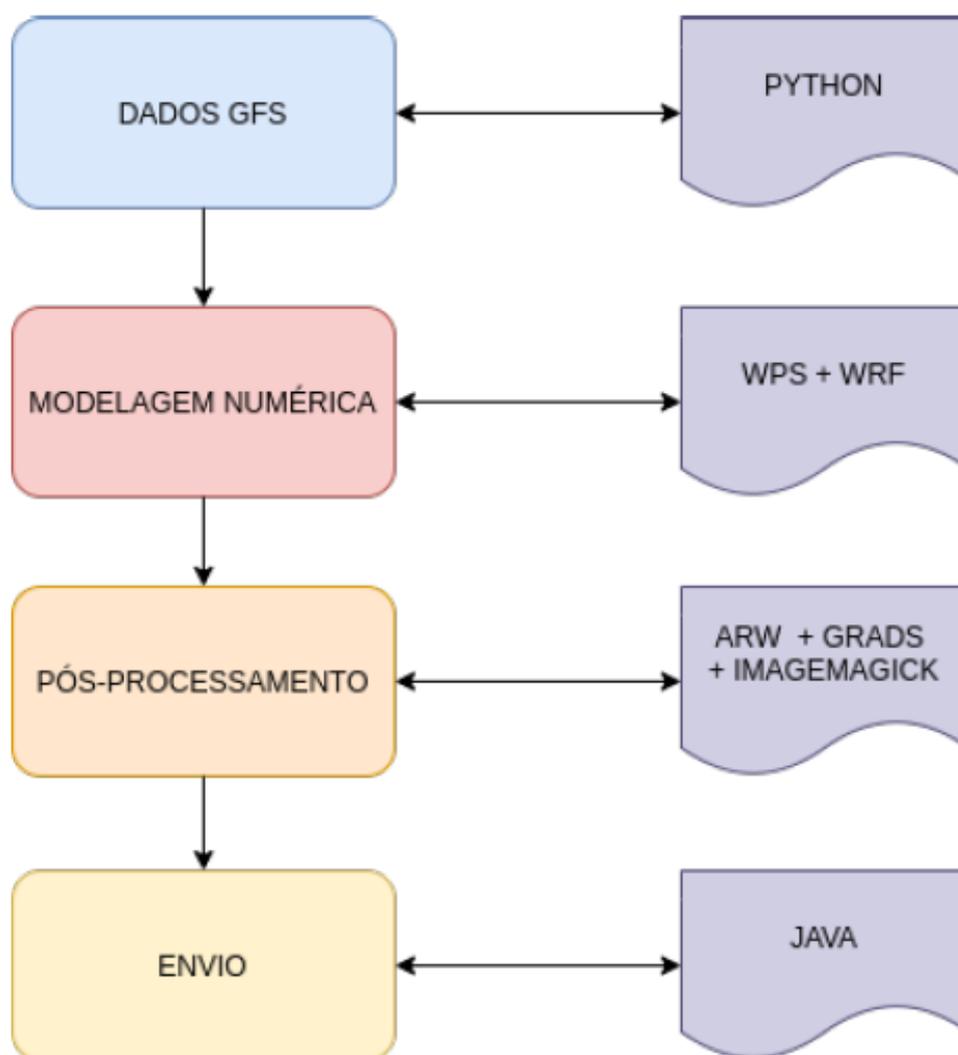
6.2 DISPONIBILIZAÇÃO DAS PREVISÕES DE CURTO PRAZO

O serviço de envio de boletins meteorológicos basicamente monitora a disponibilização de boletins e os envia a um conjunto pré-definido de usuários. O serviço roda diariamente, aguardando a chegada dos arquivos de boletins. Caso os arquivos não estejam disponíveis, nova tentativa de envio é feita em um tempo predeterminado até que os arquivos estejam disponíveis ou que um limite de tentativas seja alcançado. Caso algum erro de rede ocorra (por exemplo, não há conexão disponível com a Internet), o serviço executa novas tentativas de envio posteriormente. Os destinatários dos boletins são cadastrados em um servidor de banco de dados, permitindo inserção ou remoção de destinatários remotamente, sem necessidade de alteração do serviço ou nova disponibilização.

O serviço foi desenvolvido na linguagem de programação Java e está disponibilizado na infraestrutura de TI do ITV como máquina virtual utilizando o sistema operacional CentOS. PostgreSQL é o sistema gerenciador de dados responsável por armazenar os destinatários do serviço.

⁶ <https://imagemagick.org/index.php>

Figura 2 - Ilustração em fluxograma da estrutura do sistema de previsão numérica de tempo no ITV usando o modelo regional WRF.



Fonte: próprio autor (2020).

6.3 O BOLETIM METEOROLÓGICO DO ITV

O boletim meteorológico do ITV foi construído com base em feedbacks de empregados da Vale de áreas operacionais das áreas de mina e porto, visando a sua aplicação no planejamento diário e tomadas de decisões no âmbito de produtividade e aumento de segurança.

As variáveis previstas pelo modelo numérico regional WRF são disponibilizadas no boletim no formato de imagens e tabelas (Figura 3). As imagens representam a previsão espacial da precipitação (mm) em um horizonte de 24h, a partir da data de disponibilização.

No boletim meteorológico, são apresentadas figuras com a precipitação prevista para a região sudeste do Pará, enfatizando a Serra Norte, Mina do Azul, Serra Sul, Sossego, Salobo e

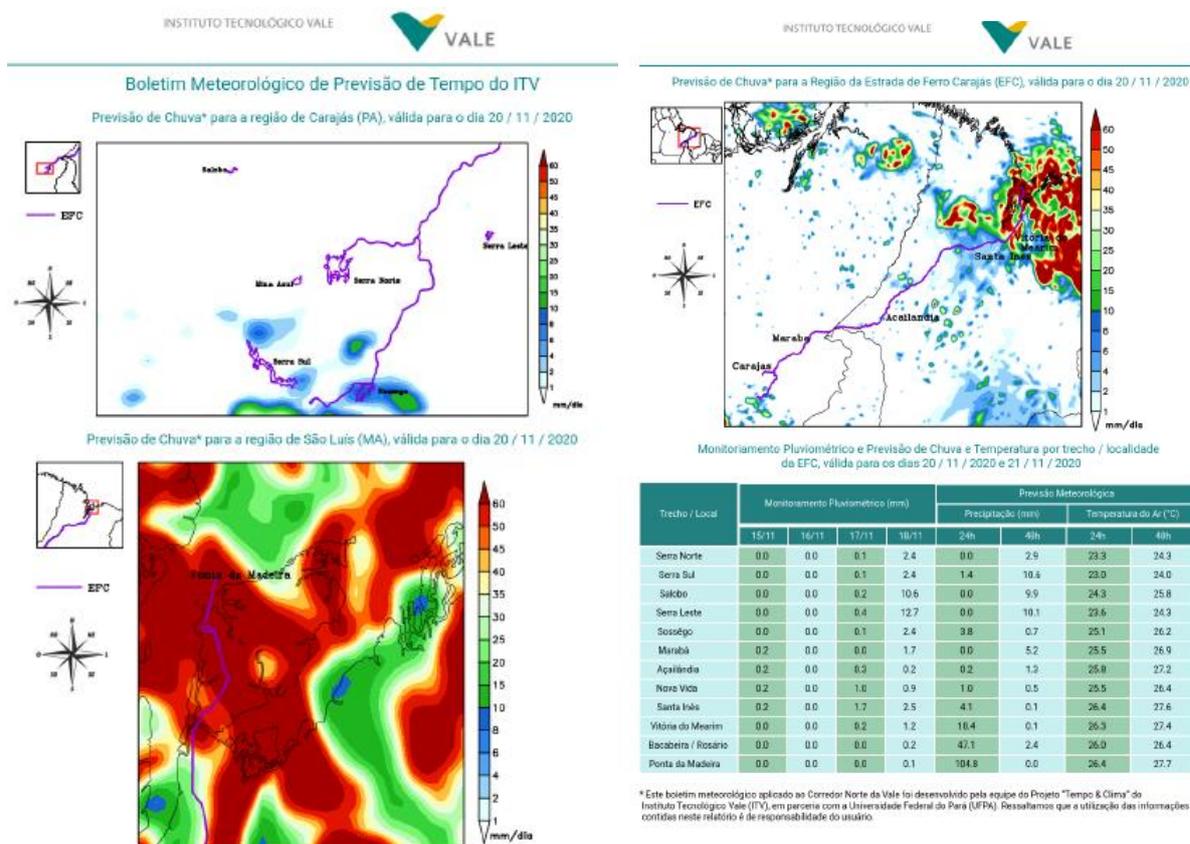
Serra Leste, bem como para a região de São Luís (MA), com vistas ao TMPM, além de uma visão geral do padrão espacial da precipitação previsto para a região do Corredor Norte da Vale, destacando a EFC.

Os valores de precipitação prevista nas figuras variam dos tons de cores mais frias (azul e verde) aos tons mais quentes (amarelo, laranja e vermelho), associados a baixos e altos acumulados pluviométricos em 24, respectivamente.

Na tabela em destaque do boletim meteorológico do ITV, doze localidades são destacadas estrategicamente a fim de abranger os principais pontos de monitoramento e previsão de tempo de interesse para a Vale. As localidades são: Serra Norte, Serra Sul, Salobo, Serra Leste, Sossego, Marabá, Açailândia, Nova Vida, Santa Inês, Vitória do Mearim, Bacabeira/Rosário e Ponta da Madeira. Para tais pontos de interesse, a tabela mostra a precipitação observada D-2, D-3, D-4 e D-5 (até cinco dias pretéritos, exceto o dia imediatamente anterior), além da precipitação (mm) e temperatura média do ar (°C) prevista para 24h e 48h, a partir da data de disponibilização do boletim meteorológico.

Os dados usados no monitoramento pluviométrico são derivados da base do *Climate Prediction Center* (CPC), que utiliza informações de estações meteorológicas em todo o globo terrestre, as quais são interpoladas pelo método do inverso das distâncias ao quadrado. Os dados de previsão contidos no boletim meteorológico são integralmente oriundos de modelagem numérica regional desenvolvida no ITV, em parceria com a Universidade Federal do Pará (UFPA).

Figura 3 - Boletim meteorológico do ITV, disponibilizado por e-mail no dia 20/11/2020, aos empregados da Vale ao longo do Corredor Norte.



Fonte: próprio autor (2020).

7 TESTES DE SENSIBILIDADE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

7.1 MUDANÇA NA FÍSICA DE RADIAÇÃO

O WRF é um modelo versátil, ele possui inúmeras configurações e parametrizações que podem ser alteradas para melhorar as simulações e algumas dessas alterações foram investigadas. A primeira foi a alteração no tempo de chamada da parametrização de radiação (*radt*). Esse parâmetro do *namelist* refere-se ao *time-step* recomendado para que o modelo realize os cálculos de integração numérica.

A frequência do *time-step* é responsável por alterar o padrão de cobertura de nuvens que o modelo simula ao longo da rodada. Uma condição de $radt = 1$ minuto por km na dimensão da grade é a configuração padrão do modelo. Contudo, isso é definido para latitudes médias e precisa ser alterado para regiões equatoriais. Vale ressaltar que, cada domínio pode ter seu próprio valor, mas é recomendado usar valores idênticos nos domínios de duas vias (LIOU, 1980).

Nas regiões próximas a linha do Equador, o movimento do sol e alternância entre dia e noite são os principais responsáveis pela formação de nebulosidade e consequente precipitação. Assim, o período no qual a parametrização é acionada pelo modelo passa a ser um parâmetro importante e para este teste, foi reduzida de 30 minutos (nas rodadas de controle) para 15 minutos nas rodadas de teste.

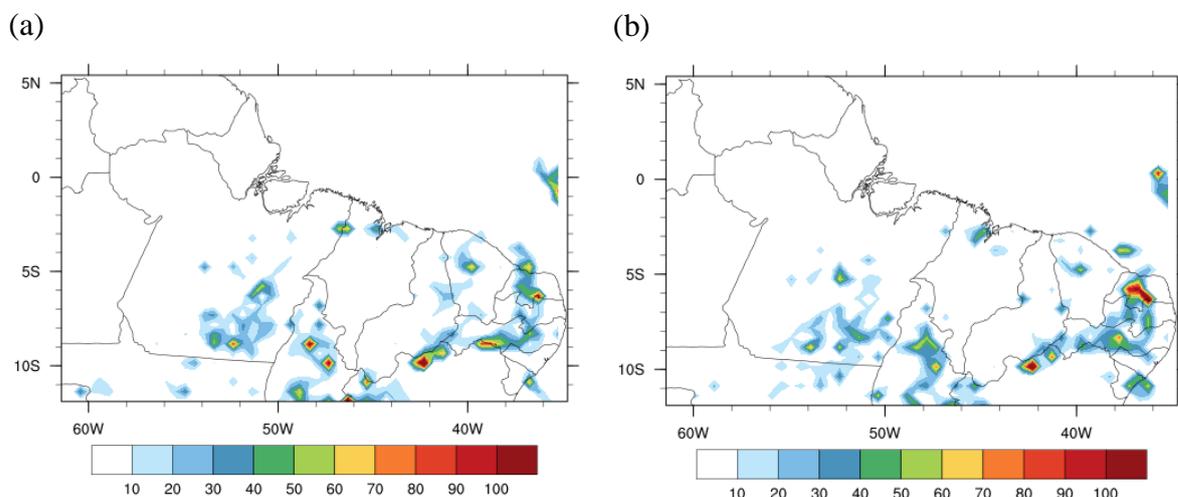
No Apêndice A(A1-A36), encontram-se as figuras que evidenciam os testes de sensibilidade com o modelo WRF na alteração do parâmetro de radiação, para as primeiras 24h de simulação. As comparações foram feitas entre os dias 26 de março de 2020 e 02 de abril de 2020, com base em experimentos controle e os testes com *radt*, conforme descrito no parágrafo anterior.

Os resultados mostraram que, apesar das mudanças no parâmetro de radiação, os resultados das simulações de precipitação não demonstraram variações significativas em relação às simulações controle. Um exemplo dessa característica encontrada nos resultados é evidenciada na Figura 4, onde o padrão espacial da precipitação é predominantemente o mesmo na Figura 4a e 4b. As diferenças em magnitude são sutis e, em alguns casos, imperceptível, entretanto, demonstram que algumas áreas os valores são atenuados e em outras são acentuados. Isso significa que uma pequena alteração em apenas um parâmetro do modelo pode desencadear reações diferentes no modelo.

É importante destacar que, como a alteração no parâmetro de radiação possui relação com o disparo da formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical, o posicionamento dos sistemas atmosféricos indutores de precipitação tende a ser alterado. Contudo, isso não foi percebido nos resultados encontrados neste relatório, uma vez que o padrão espacial da distribuição da precipitação foi similar ao experimento controle. As mudanças mais significativas associaram-se a intensidade da precipitação (Apêndice A1-A36).

Em termos de viés, as diferenças positivas foram sensivelmente aumentadas devido uma predominância da diminuição da precipitação no experimento alterando a radiação do modelo, enquanto as diferenças negativas foram suavizadas em razão da redução do total pluviométrico em 24h.

Figura 4 - Precipitação prevista WRF (mm/dia) e a precipitação observada CPC (mm/dia) para (a) o experimento controle e (b) o teste com o parâmetro de radiação, para as primeiras 24h de previsão do dia 26/04/2020.



Fonte: próprio autor (2020).

Em resoluções abaixo de 5km a parametrização de *cumulus* deixa de ser obrigatória, uma vez que o espaçamento da grade é pequeno o suficiente para que os processos possam ser calculados de modo explícito. Logo, desligar a parametrização pode trazer benefícios computacionais e quantitativos. Sendo assim, o último teste realizado envolveu a remoção da parametrização de *cumulus*.

Os resultados mostraram que não houve ganho com relação ao tempo computacional. Com relação ao acumulado de precipitação, não houve diferença significativa da variabilidade espacial, porém os núcleos de maior valor de precipitação acumulada diária apresentaram o menor raio entre todos os testes.

7.2 PREVISÃO ITV X PREVISÃO DE FONTE EXTERNA

Nesta seção, foi realizada uma breve comparação entre os resultados gerados pelas simulações do WRF no ITV e as simulações realizadas por uma fonte externa, que pode ser considerada uma referência no Brasil em previsão numérica de tempo. Apesar de ambos utilizarem o mesmo modelo, o WRF é um software que pode ser adaptado a diferentes cenários e diferentes objetivos, ou seja, as simulações podem ser significativamente diferentes.

O WRF em execução pela fonte externa simula as condições de tempo para todo o Brasil, parte da América do Sul e partes dos oceanos Pacífico e Atlântico. As simulações são

realizadas para um período de 72h, com saída a cada 1h, em uma grade de 5km de resolução horizontal (1476 x 1402 pontos).

No ITV as simulações do WRF são realizadas em duas grades focadas no Corredor Norte da Vale: a primeira possui resolução de 15 km (320 x 200 pontos) e a segunda, a utilizada nos boletins de previsão, tem resolução de 3 km (686 x 401 pontos). Ambas as grades são executadas para um período de 60h com saídas a cada 1h.

A comparação dos entre os modelos não foi realizada de forma direta, isto é, pela diferença entre as simulações de ambos. Para estes casos, é pertinente utilizar uma base dados observacionais no intuito de que seja considerada o registro real de uma variável. Para tal, foi utilizada a base de dados do CPC, a mesma utilizada no monitoramento pluviométrico disponibilizado no boletim meteorológico do ITV. Assim, foi feito um paralelo das diferenças entre os valores previstos WRF/ITV e o CPC, com os valores previstos WRF/Fonte Externa e o CPC.

Os resultados foram analisados para as simulações de 24h e podem ser encontrados no Apêndice B(B1-B38), para o período de 26/03/2020 até 03/05/2020. Tanto os dados do WRF/ITV quanto WRF/Fonte Externa foram investigados a partir de uma análise qualitativa (localização e distribuição da precipitação) e quantitativa (cálculo do viés).

De forma geral, o WRF/ITV conseguiu simular satisfatoriamente a precipitação no período estudado, apesar do viés acentuado em eventos extremos. A Figura 5 mostra o comparativo no dia 22/04/2020, onde os dados observados (painel superior) registram acumulados significativos de precipitação em algumas regiões do estado do Maranhão, especialmente no centro norte, abrangendo parte da EFC. O WRF ITV conseguiu capturar a precipitação no litoral e no interior, porém com o máximo deslocado e restrito ao noroeste maranhense. Além disso, o WRF/ITV simulou diversos outros focos menores de precipitação em toda área de simulação, os quais coincidiram espacialmente com os máximos pluviométricos detectados pela base do CPC. Se a análise qualitativa relevou um bom desempenho do modelo ao identificar as regiões onde ocorreu precipitação, a avaliação quantitativa evidenciou que o WRF/ITV apresenta vieses de subestimativa e superestimativa dos valores previstos de precipitação em 24h. Contudo, para uma análise preliminar com as primeiras simulações com o WRF/ITV para a região do Corredor Norte das Vale, os resultados podem ser vistos como promissores.

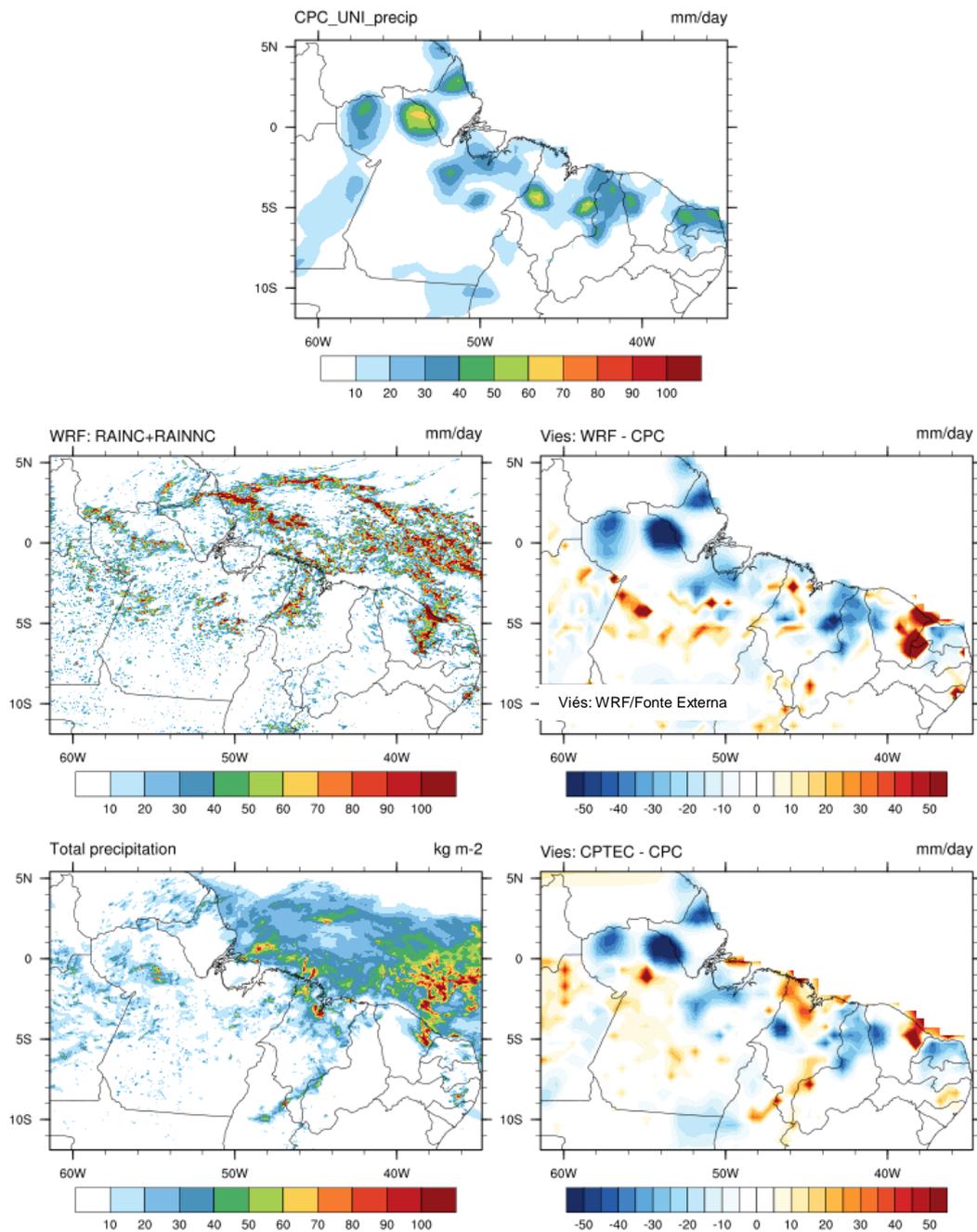
O WRF/Fonte Externa não conseguiu capturar a precipitação registrada na porção mais próxima à divisa do Maranhão com o Pará, do mesmo modo que previu a chuva da ordem de

40 mm em uma região onde os dados observados registram no máximo 20 mm. Logo, para o dia 22/04/2020 em particular, não foi capaz de identificar de modo adequado o padrão espacial na região de interesse. Para a data em questão, o modelo WRF/ITV foi mais fidedigno às condições observadas.

Entretanto, analisando o comportamento médio tanto do WRF/ITV quanto do WRF/Fonte Externa para toda a amostra de dados (Apêndice B1-B38), identificou-se que ambos os modelos se aproximam de forma satisfatória da precipitação observada, chamando-se a atenção para um deslocamento sistemático dos máximos de precipitação, que podem estar associados às diferenças nas grades de cada uma das bases analisadas.

Figura 5 - Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 22/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-22_00:00:00



Fonte: próprio autor (2020).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste relatório técnico, demonstram que a modelagem numérica é capaz de gerar informações sobre o estado futuro de variáveis atmosféricas relevantes para as operações da Vale.

O desenvolvimento de rotinas de previsão de tempo por modelagem numérica regional resultou no envio automático de boletins meteorológico do ITV para empregados da Vale de diversas gerências ao longo do Corredor Norte. O layout do produto e as localidades destacadas nas previsões foram definidas estrategicamente em reuniões de trabalho e visitas aos sítios da Vale. Logo, configura-se como um primeiro esboço de boletim meteorológico sob medida para as operações da Vale.

Os testes iniciais de sensibilidade ainda são precoces em tratando-se de um modelo tão robusto quanto o WRF, que permite uma infinidade de alterações e adaptações para as características físicas e dinâmicas regionais do Corredor Norte da Vale. Recomenda-se fortemente nas próximas etapas do projeto que sejam analisados outros fatores que têm potencial para melhorar as previsões meteorológicas de curto prazo, como: a viabilidade de inserção dos dados de temperatura da superfície do mar (TSM), técnicas de suavização de grade ou *nudging* (WANG; WARNER, 1988), alteração do *landuse* do modelo para as condições regionais atuais, ajustes de parametrização no modelo, e a assimilação dos dados do novo radar meteorológico da Vale em Carajás, por exemplo.

Dentro do período analisado, a comparação das previsões meteorológicas realizadas pelo ITV com a previsão de outra fonte externa demonstrou que o WRF/ITV consegue identificar de modo mais confiável as nuances pluviométricas regionais, bem como a precipitação associada à sistemas atmosféricos que ocorrem em escala espacial inferior a mesoescala. O WRF/Fonte Externa também demonstrou um bom desempenho para a região do Corredor Norte da Vale, do modo que foi capaz de identificar os padrões de precipitação em escala maior. Contudo, ambos os modelos apresentam erros quantitativos e viés elevado em episódios de eventos extremos.

Deste modo, o presente relatório apresentou os resultados do desenvolvimento de um sistema de previsão numérica de tempo gerado com base na infraestrutura computacional do ITV e com equipe de especialistas em meteorologia e computação, parceria da UFPA, e focado para a cadeia mineral do Corredor Norte da Vale. Adicionalmente foram apresentados os primeiros resultados da pesquisa científica com o modelo WRF, de modo a adequá-lo às

características regionais do leste da Amazônia. Apesar de iniciais, os resultados são auspiciosos e têm alto potencial para ajudar a Vale no planejamento logístico e operacional.

REFERÊNCIAS

HOLTON, J. R. **An introduction to dynamic meteorology**. 4. ed., California, USA: Academic Press; Elsevier Science, 2004.

JACOBSON, M. Z. **Fundamentals of atmospheric modeling**. Cambridge, Cambridge University Press, 1999.

LIU, K. N. **An introduction to atmospheric radiation**. California, USA: Academic Press, 1980.

MUNRO, M. C.; MOHAJERANI, A. Determination of the transportable moisture limit of iron ore fines for the prevention of liquefaction in bulk carriers. **Marine Structures**, v. 40, p. 193-224, 2015.

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; HUANG, X. Y.; WANG, W.; POWERS, J. G. **A Description of the Advanced Research WRF Version 3**, NCAR TECHNICAL NOTE, NCAR/TN-475 STR, pp. 113, 2008.

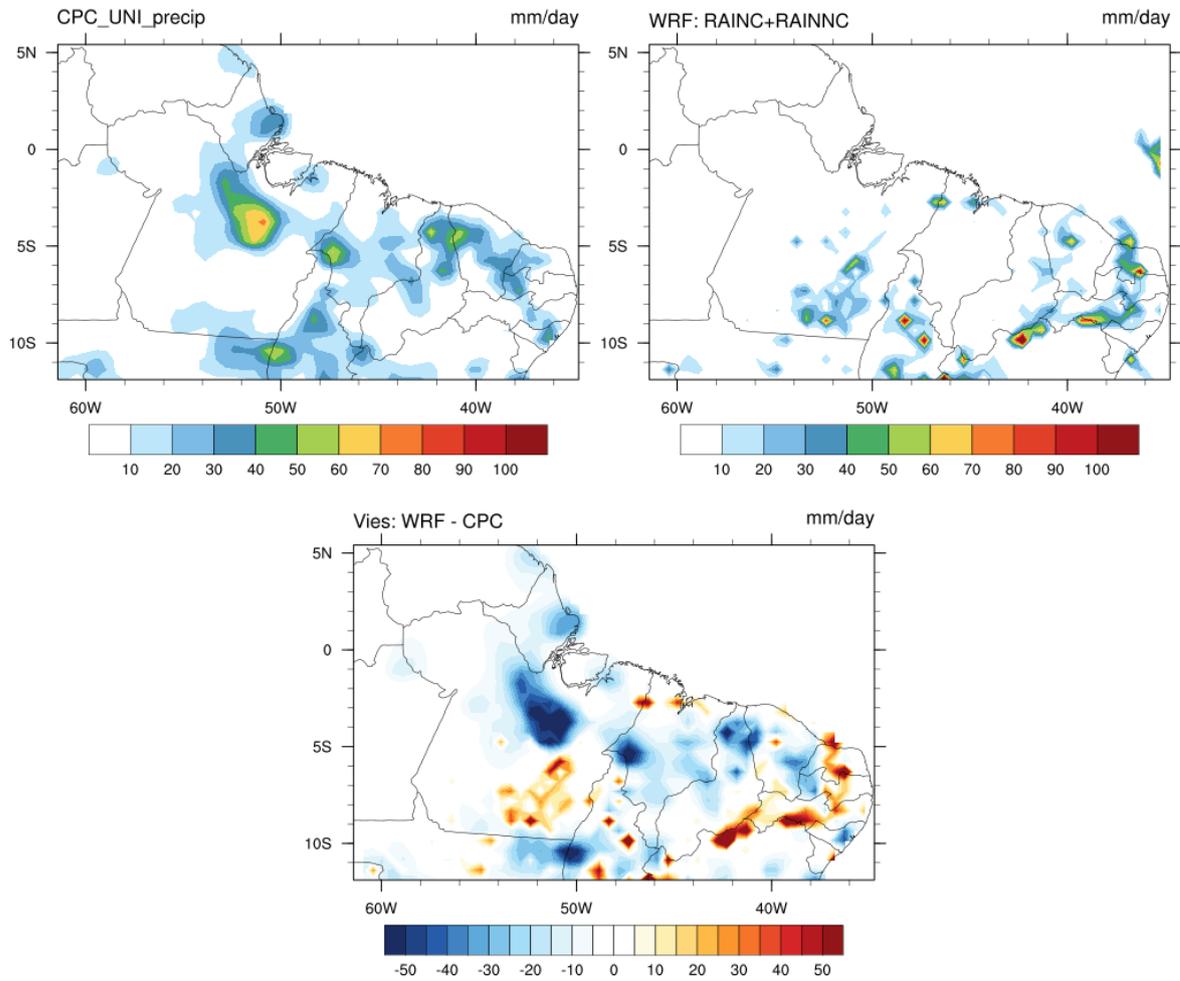
VALE. **Saiba mais sobre os negócios da Vale**: minério de ferro e pelotas. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/business/mining/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 25 nov. 2020.

WANG, W.; WARNER, T. T. Use of four-dimensional data assimilation by Newtonian relaxation and latent-heat forcing to improve a mesoscale-model precipitation forecast: A case study. **Monthly Weather Review**, v. 116, p. 2593-2613, 1988.

APÊNDICES

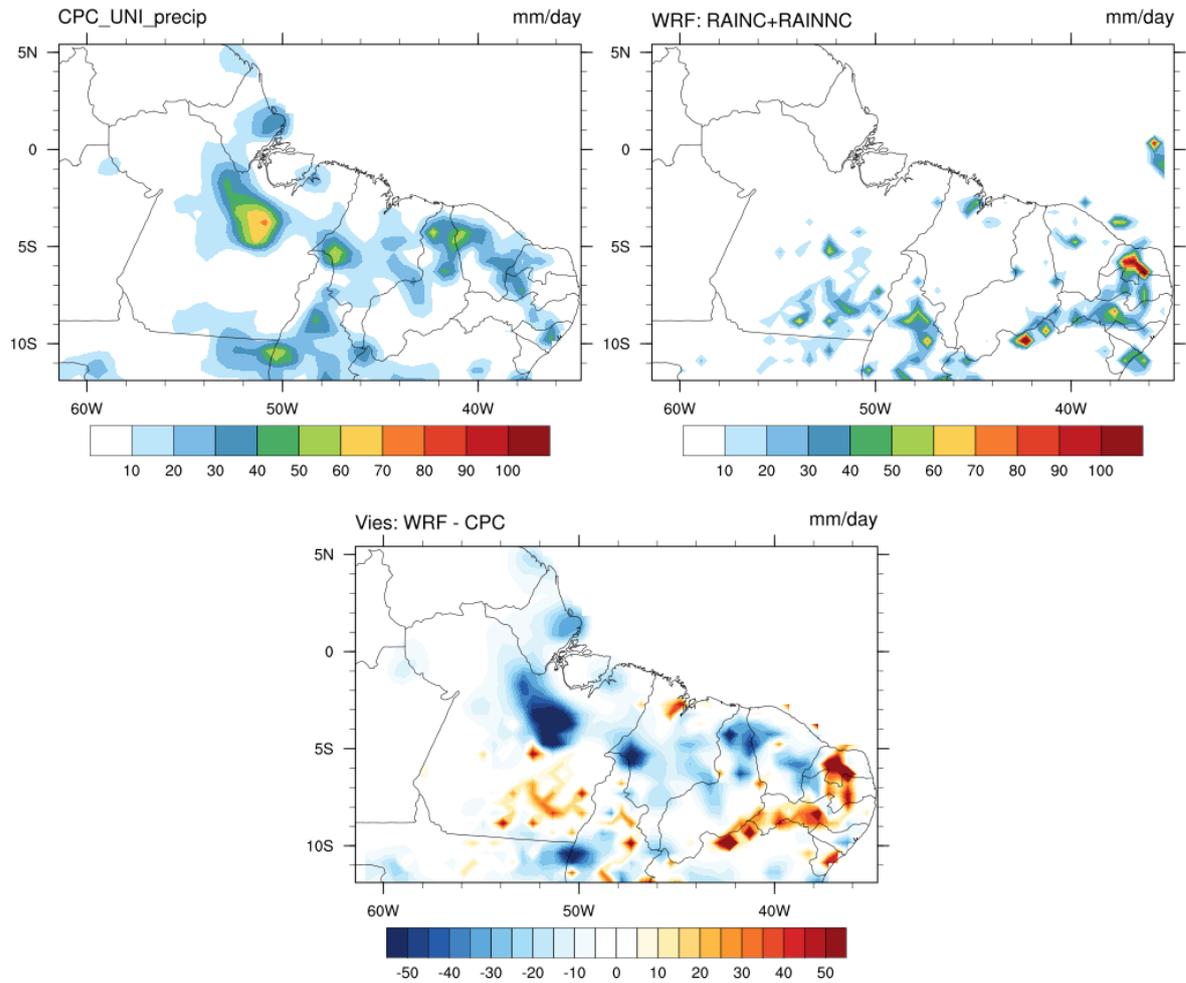
APÊNDICE A-1: Rodada controle do WRF para o dia 26/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-03-26_00:00:00



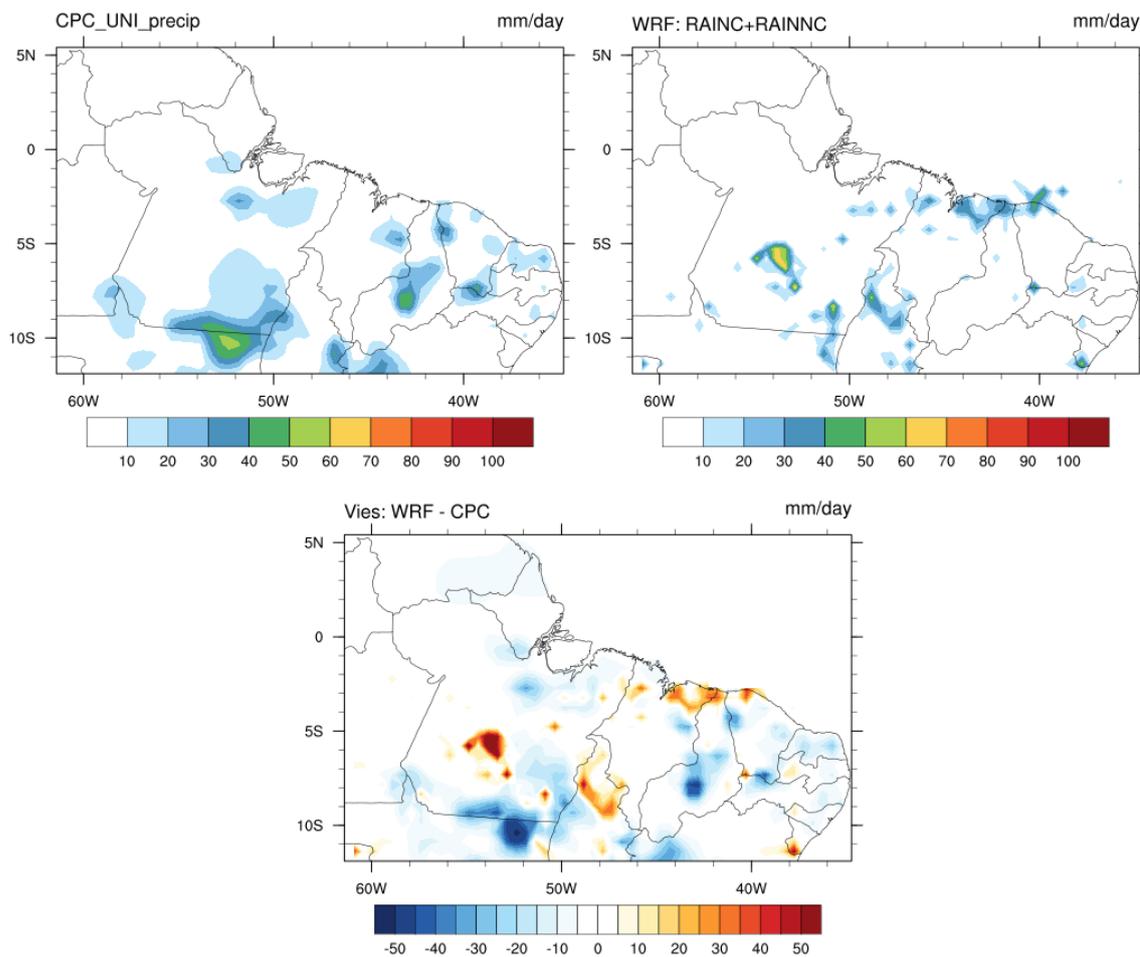
APÊNDICE A-2: Rodada teste com o parâmetro de radiação do WRF para o dia 26/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-03-26_00:00:00

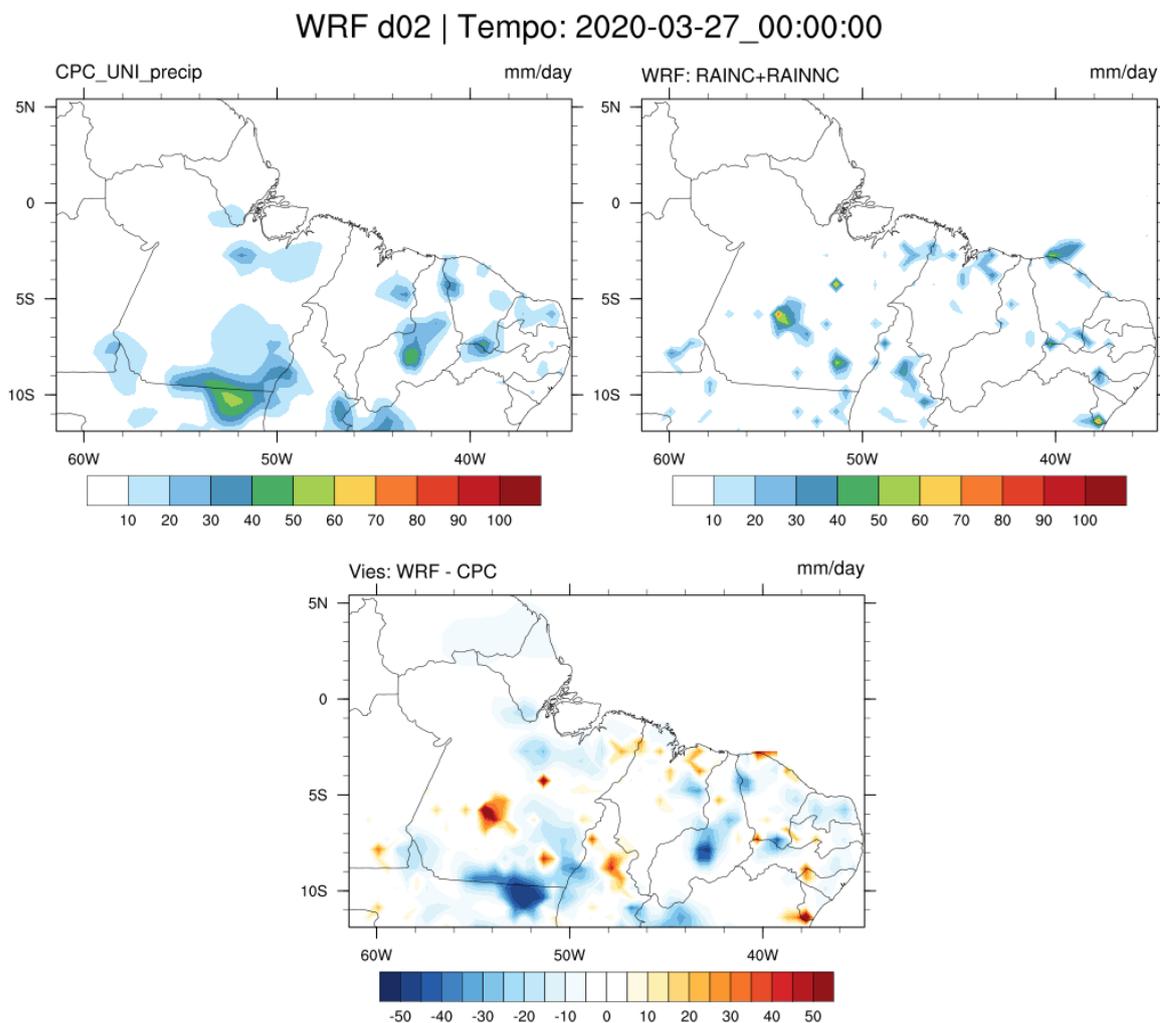


APÊNDICE A-3: Rodada controle do WRF para o dia 27/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-03-27_00:00:00

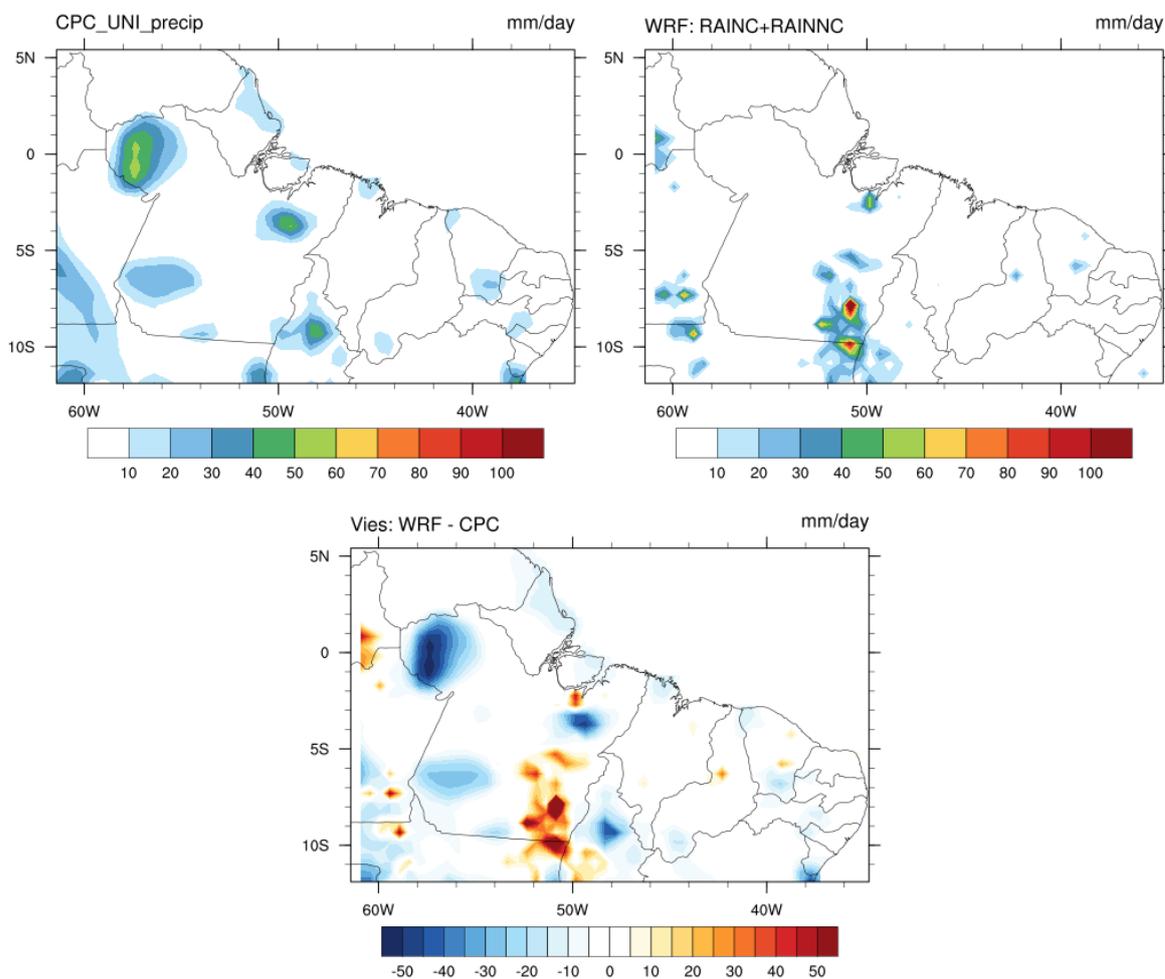


APÊNDICE A-4: Rodada teste com o parâmetro de radiação do WRF para o dia 27/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

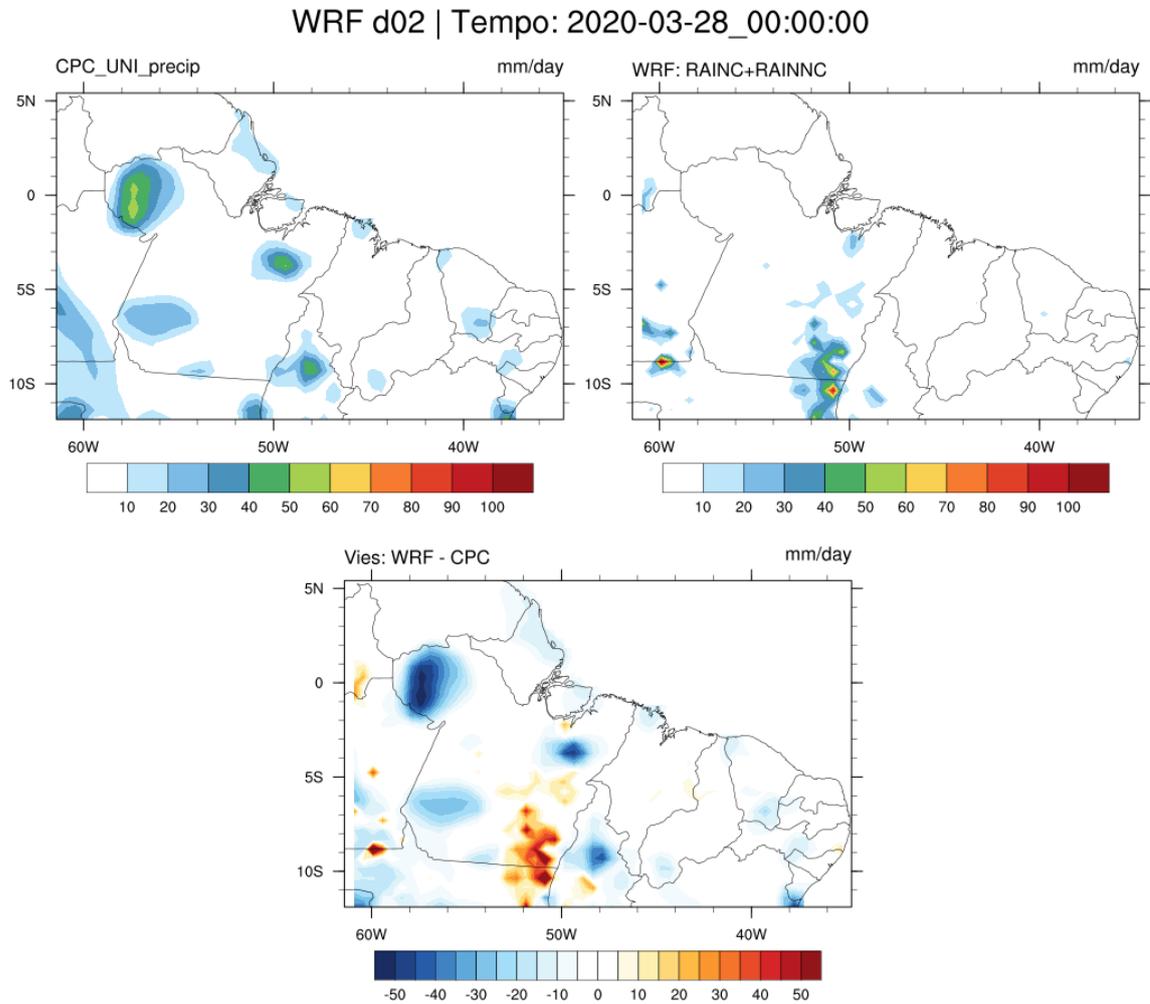


APÊNDICE A-5: Rodada controle do WRF para o dia 28/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-03-28_00:00:00

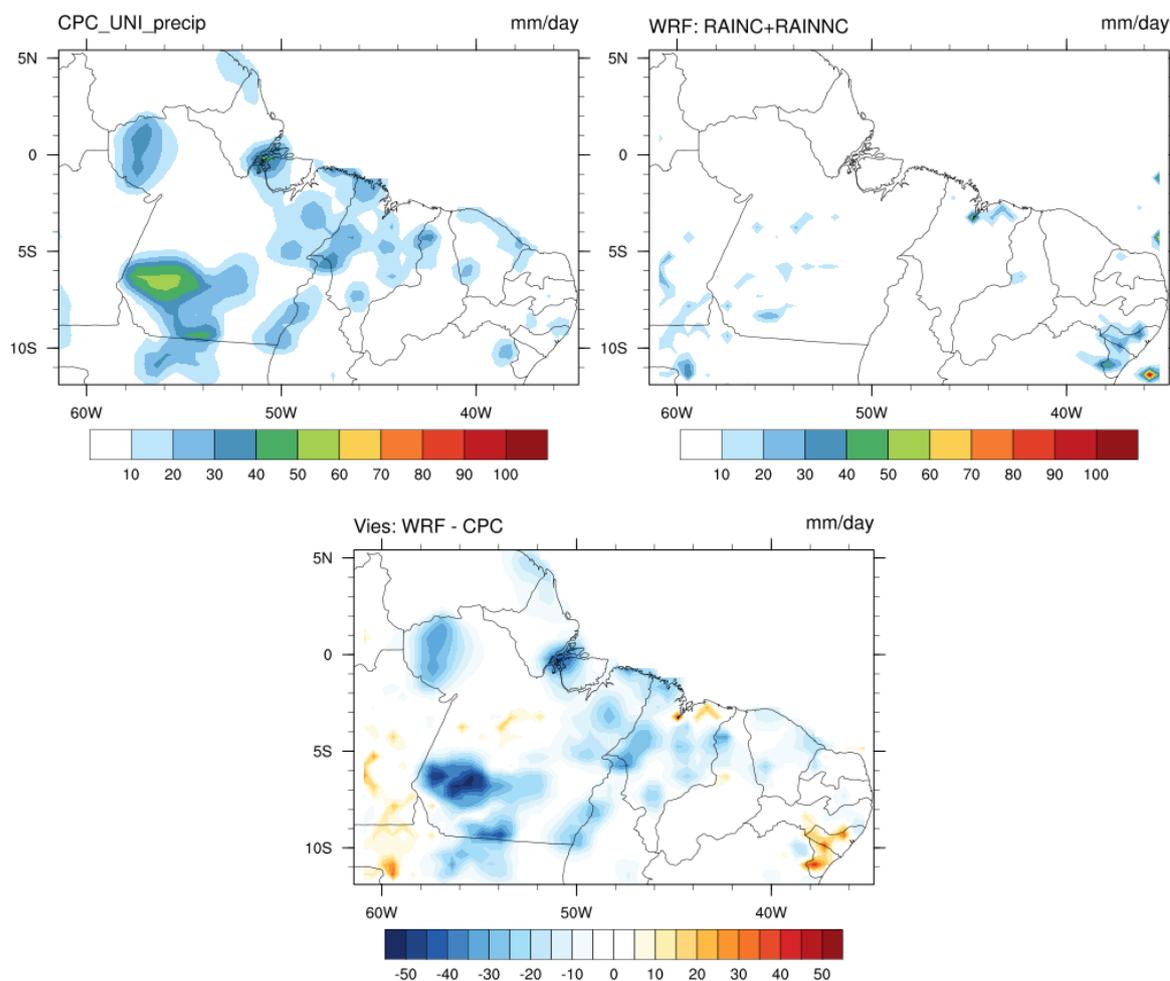


APÊNDICE A-6: Rodada teste com o parâmetro de radiação do WRF para o dia 28/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

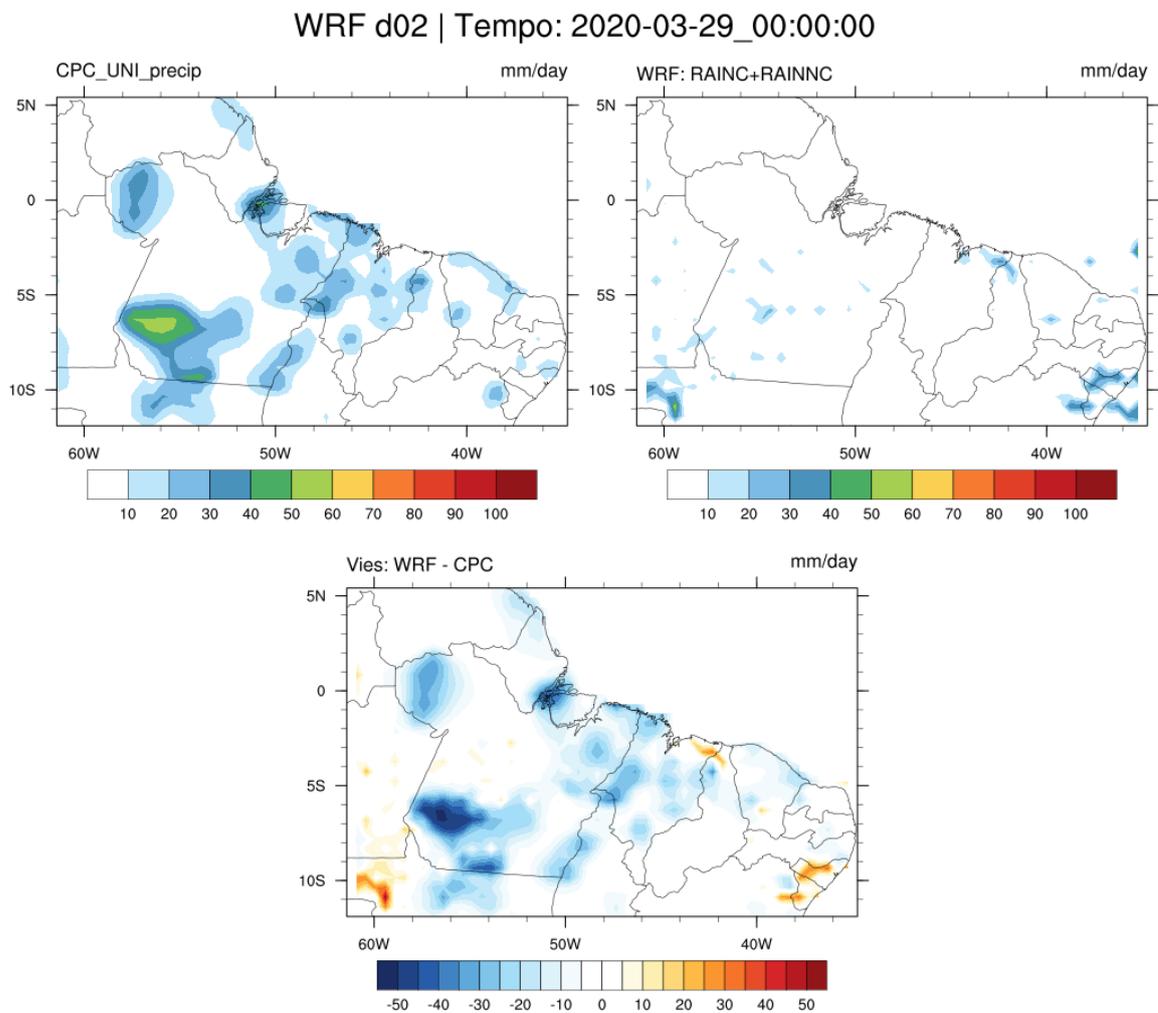


APÊNDICE A-7: Rodada controle do WRF para o dia 29/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-03-29_00:00:00

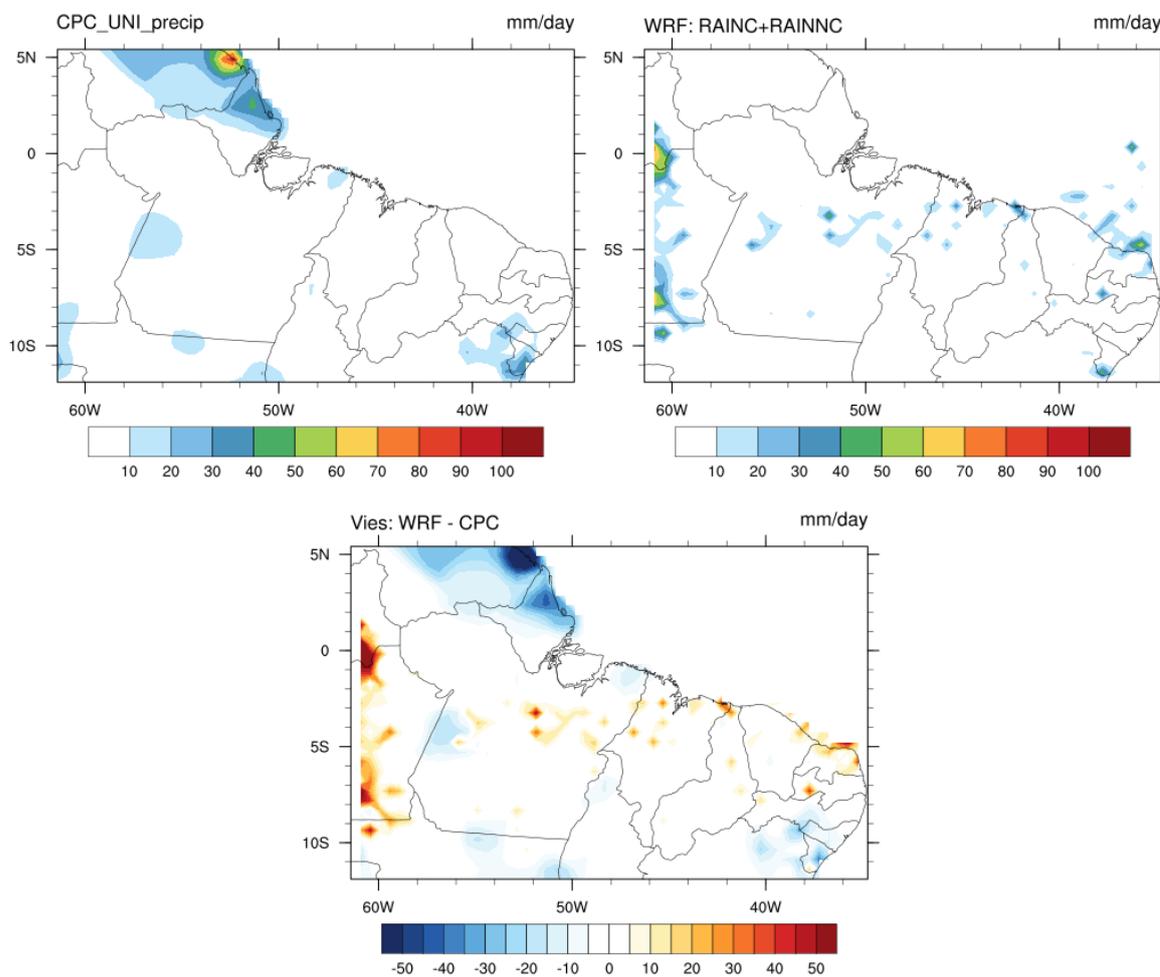


APÊNDICE A-8: Rodada teste com o parâmetro de radiação do WRF para o dia 29/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

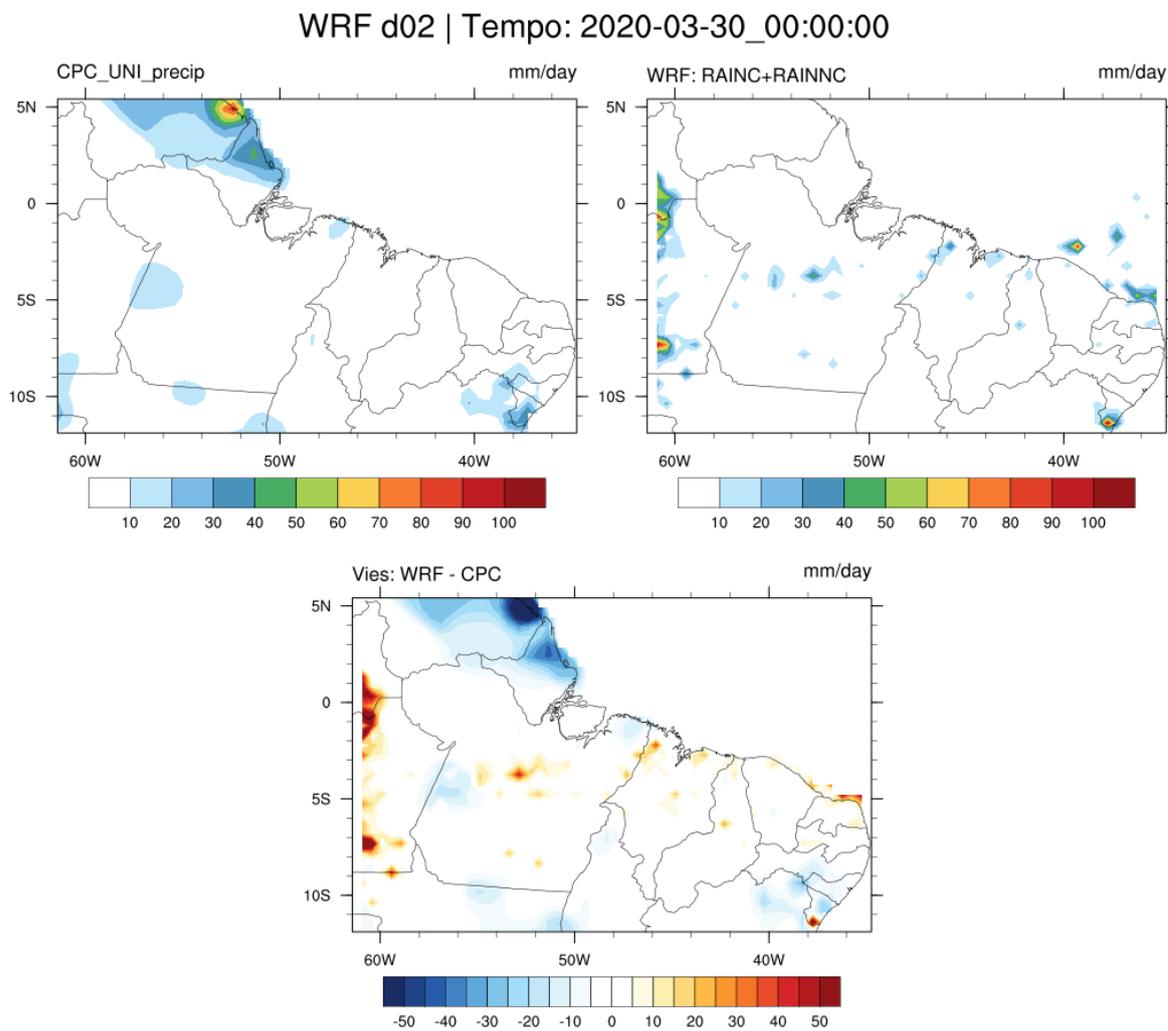


APÊNDICE A-9: Rodada controle do WRF para o dia 30/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-03-30_00:00:00

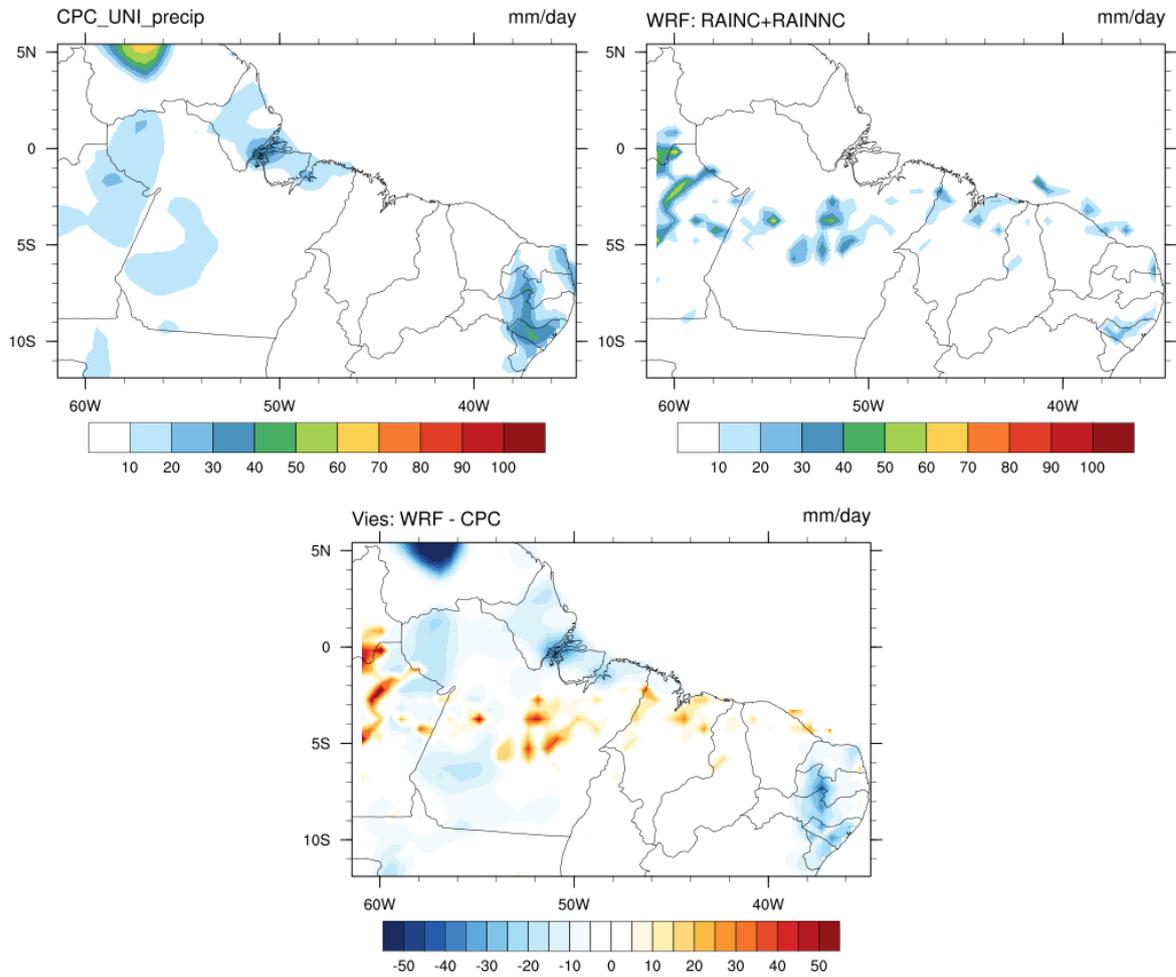


APÊNDICE A-10: Rodada teste com o parâmetro de radiação do WRF para o dia 30/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

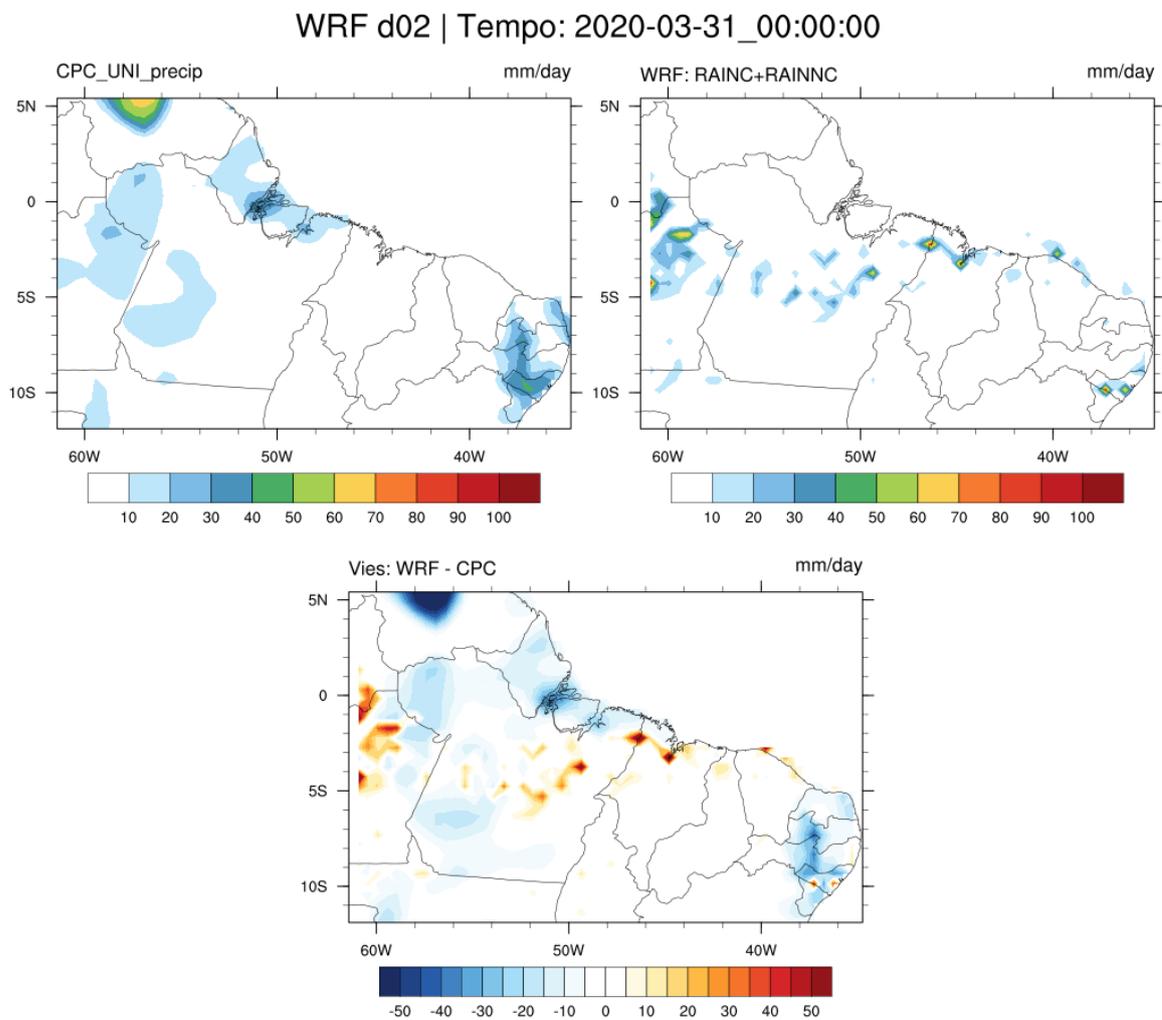


APÊNDICE A-11: Rodada controle do WRF para o dia 31/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-03-31_00:00:00

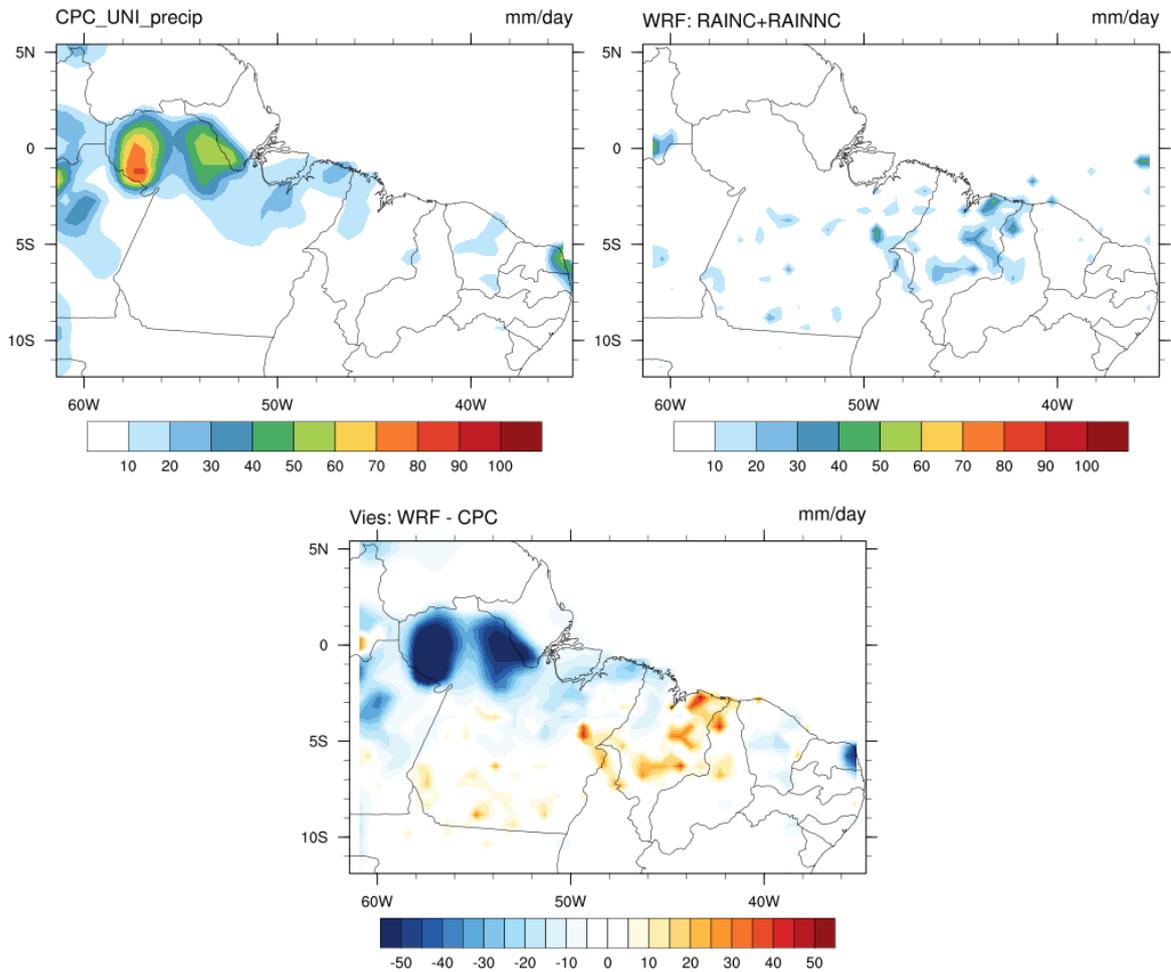


APÊNDICE A-12: Rodada teste com o parâmetro de radiação do WRF para o dia 31/03/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

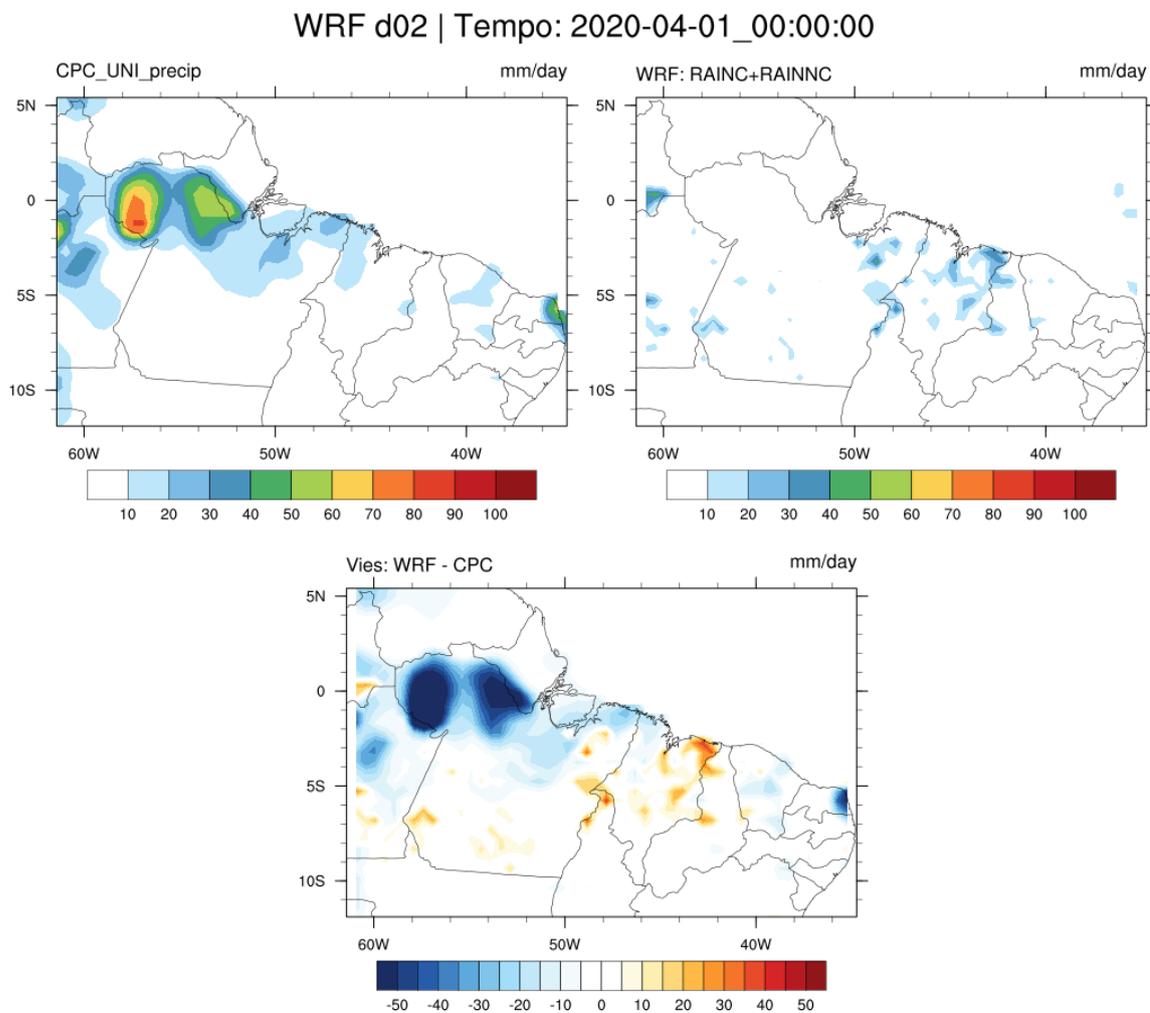


APÊNDICE A-13: Rodada controle do WRF para o dia 01/04/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-04-01_00:00:00

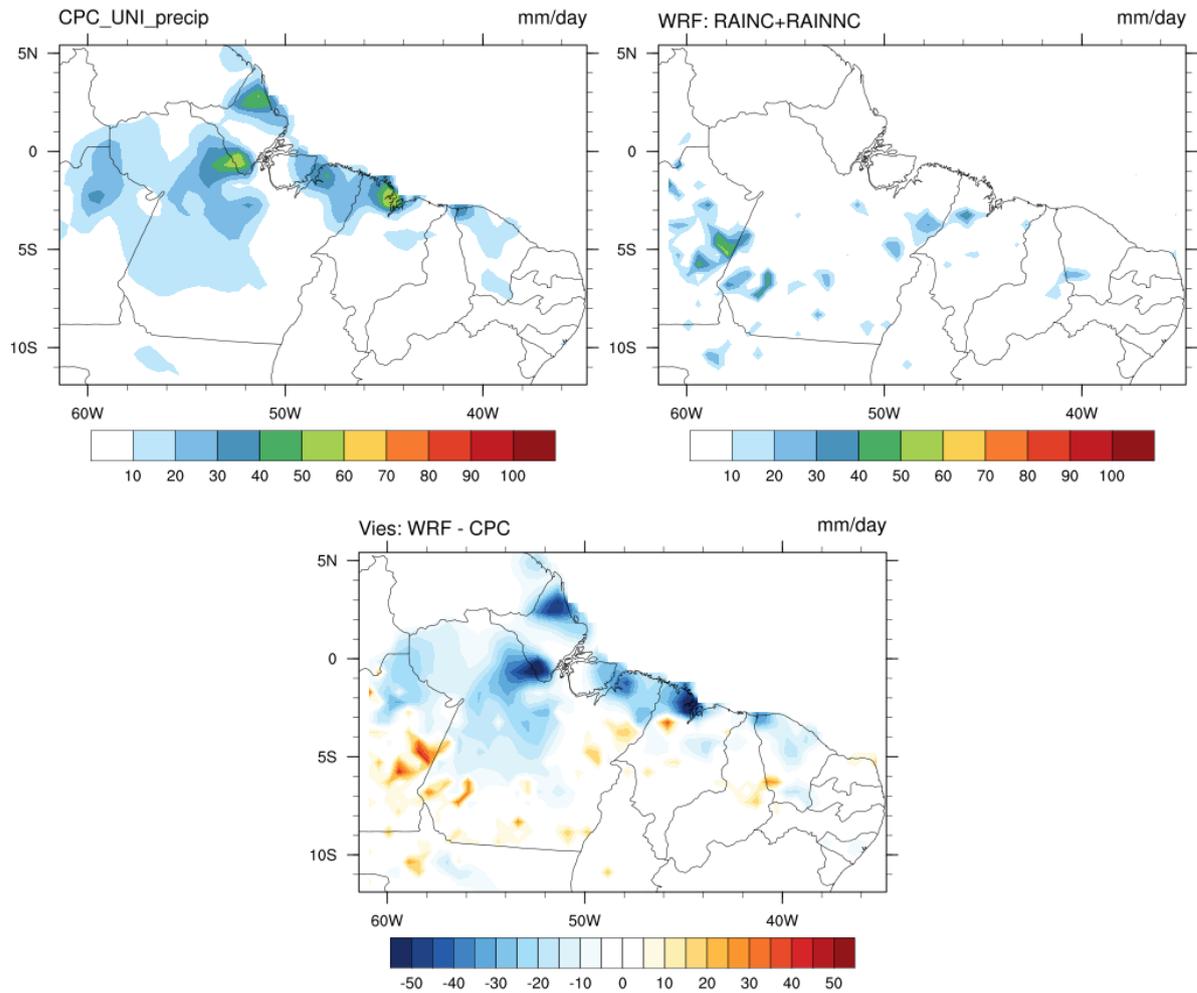


APÊNDICE A-14: Rodada teste com o parâmetro de radiação do WRF para o dia 01/04/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

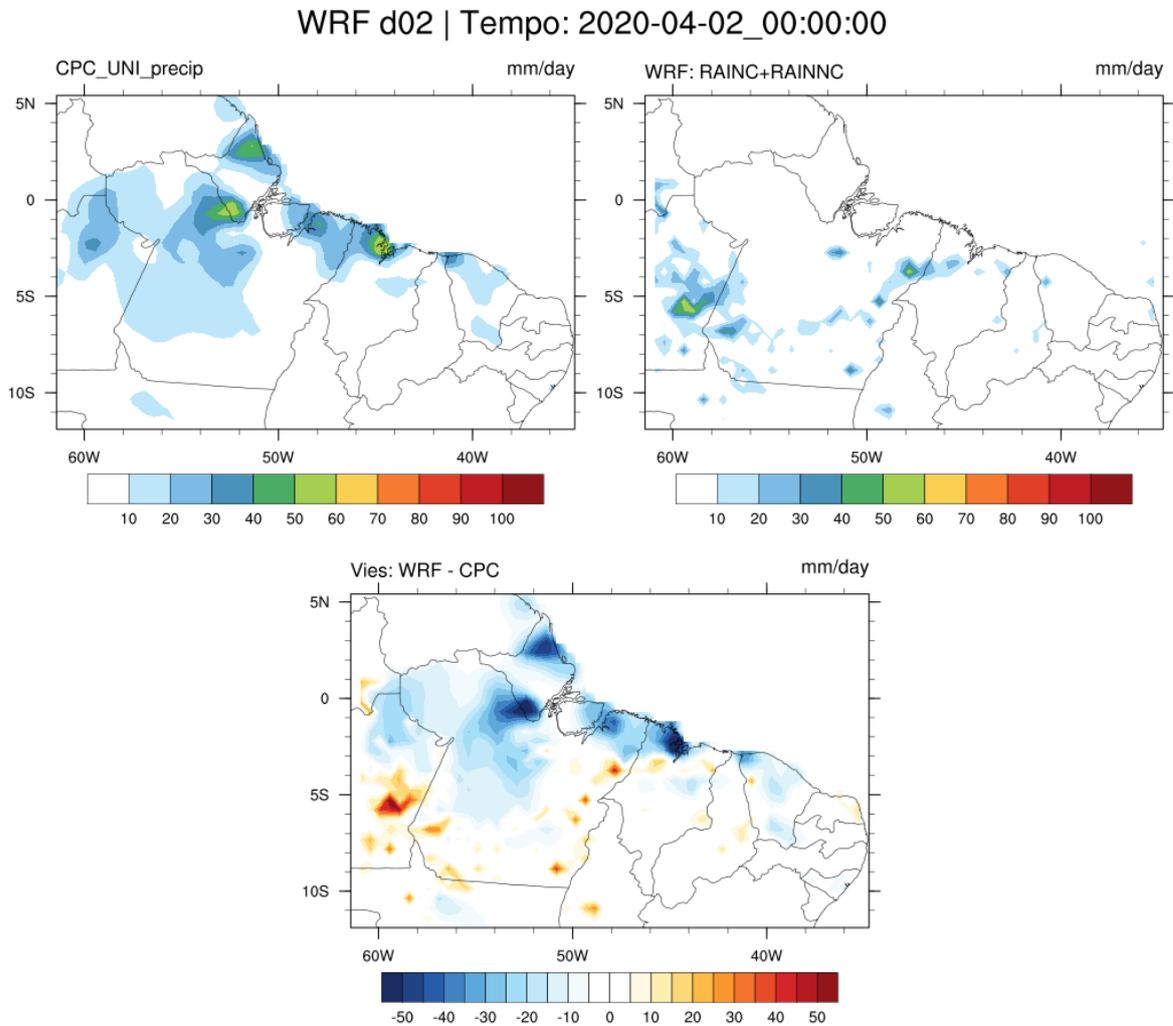


APÊNDICE A-15: Rodada controle do WRF para o dia 02/04/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).

WRF d02 | Tempo: 2020-04-02_00:00:00

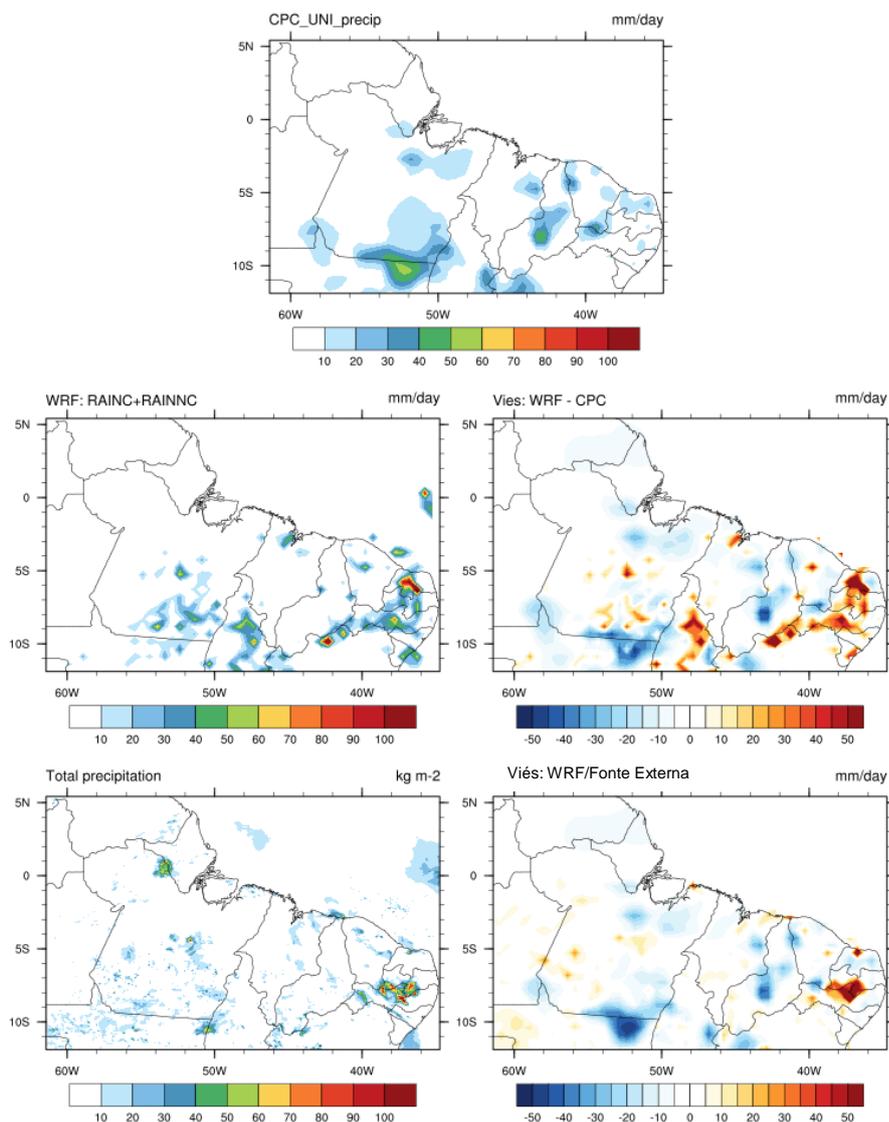


APÊNDICE A-16: Rodada teste com o parâmetro de radiação do WRF para o dia 02/04/2020. Destaque para os dados observados CPC (painel superior esquerdo), previsão de precipitação WRF (painel inferior direito) e viés (diferença entre a precipitação prevista e a precipitação observada).



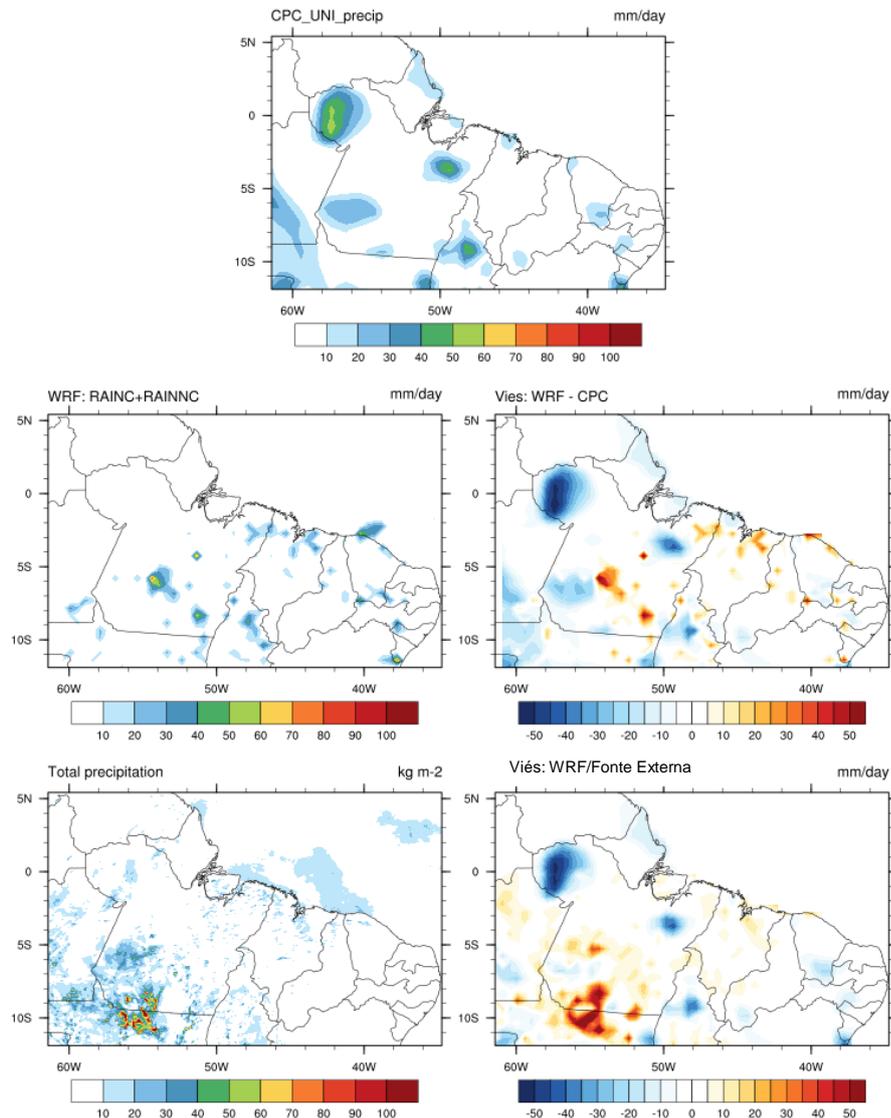
APÊNDICE B-1: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 26/03/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-03-26_00:00:00



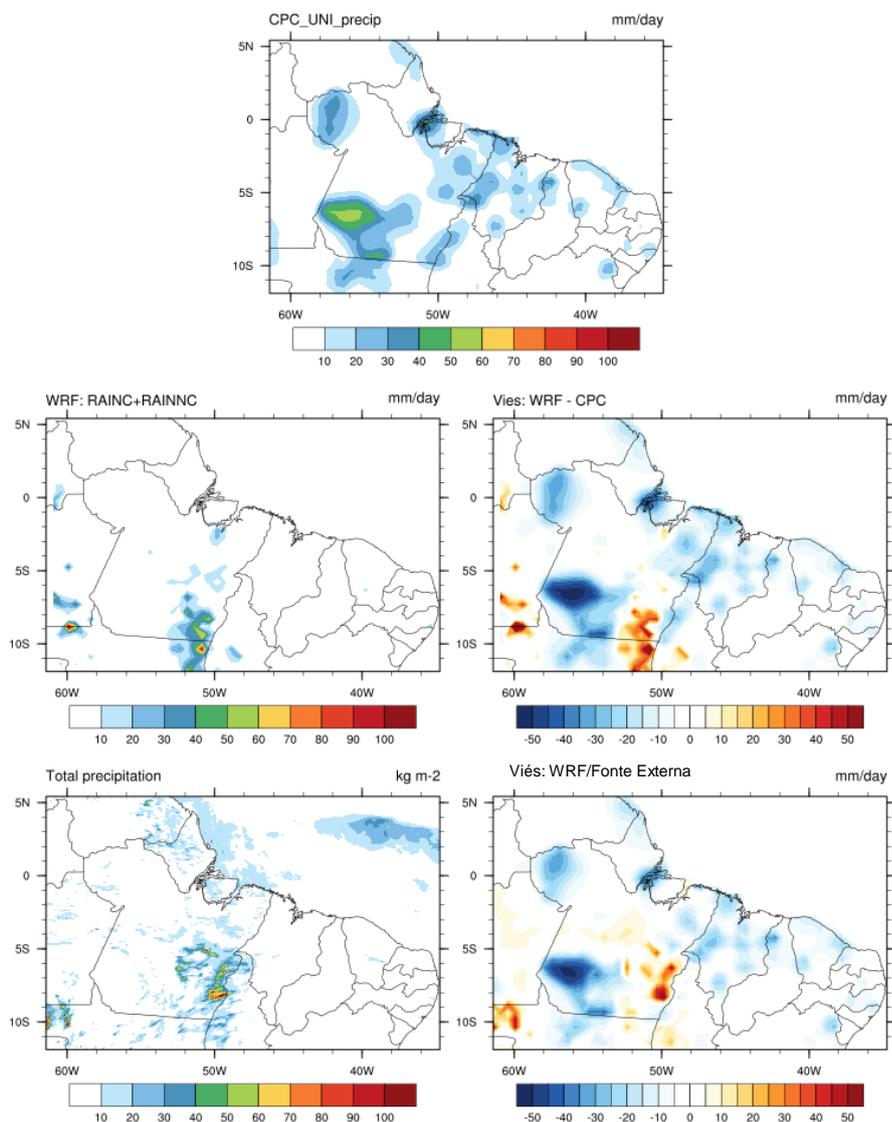
APÊNDICE B-2: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 27/03/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-03-27_00:00:00



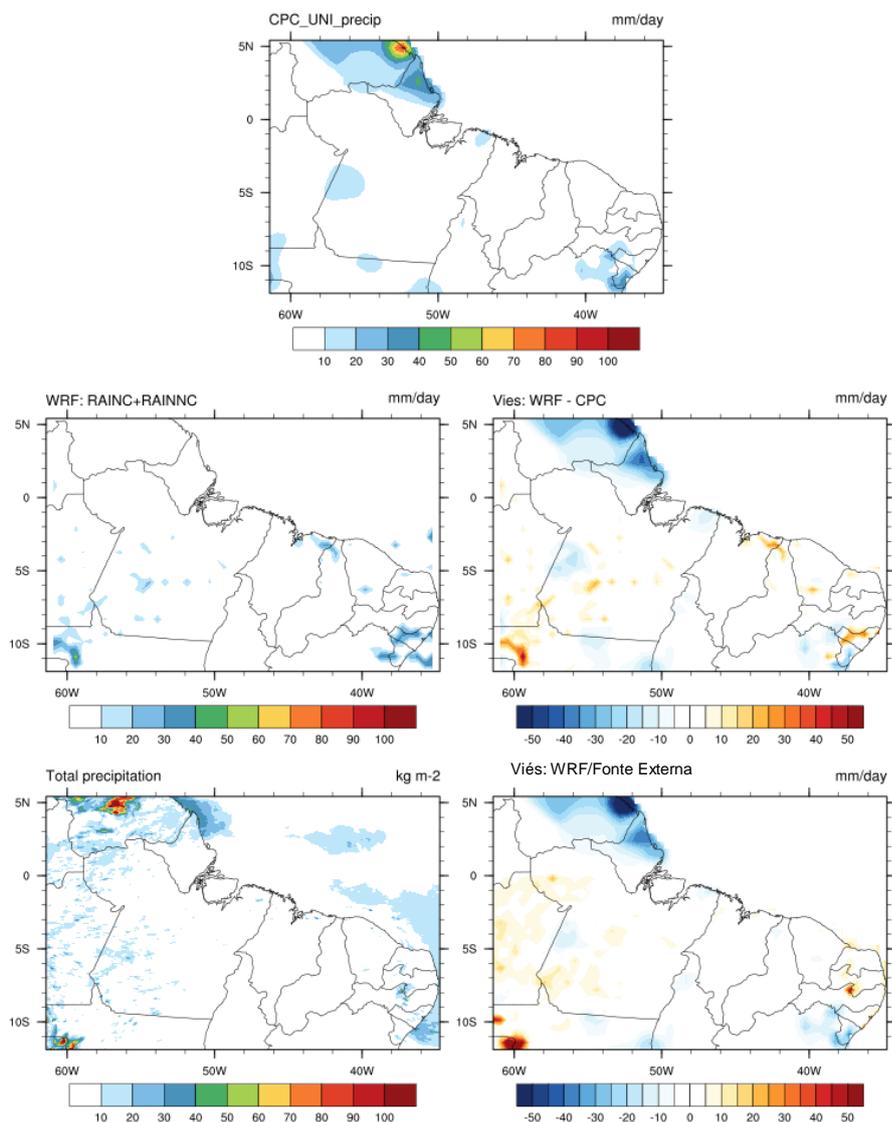
APÊNDICE B-3: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 28/03/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-03-28_00:00:00



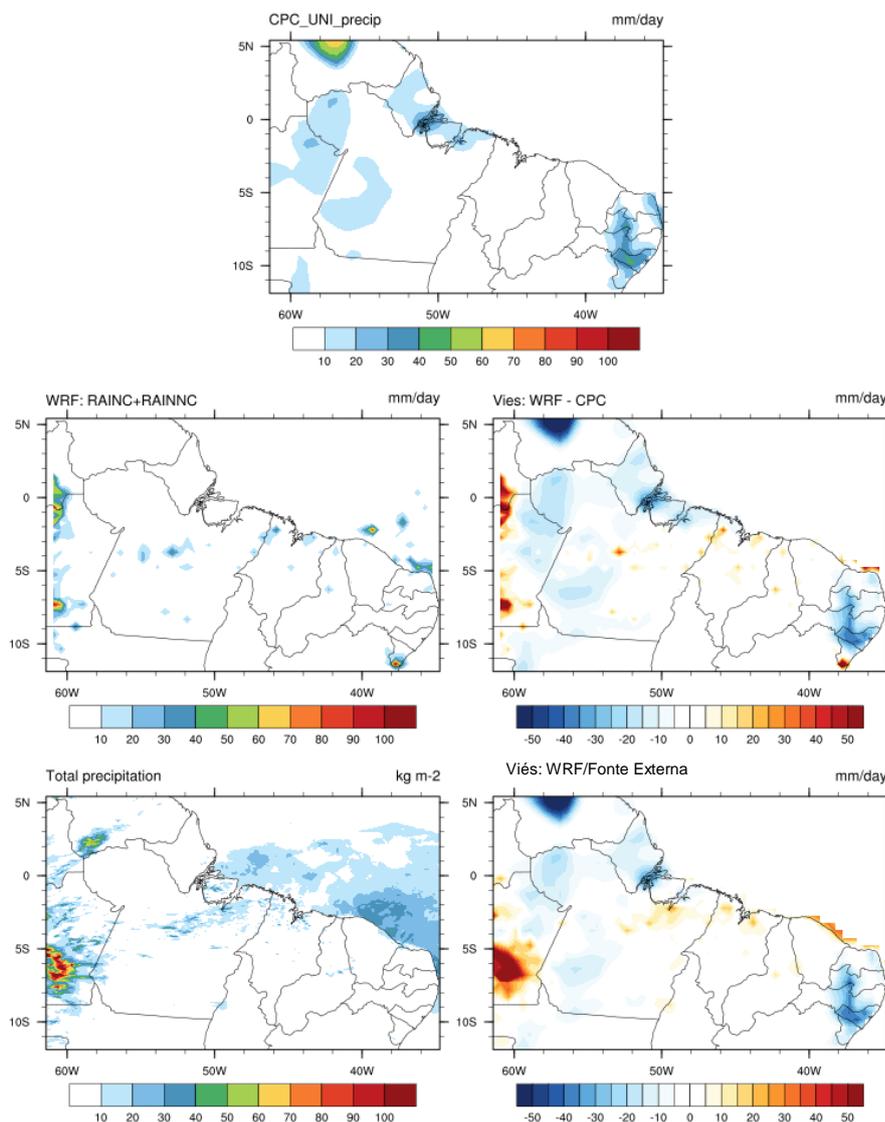
APÊNDICE B-4: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 29/03/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-03-29_00:00:00



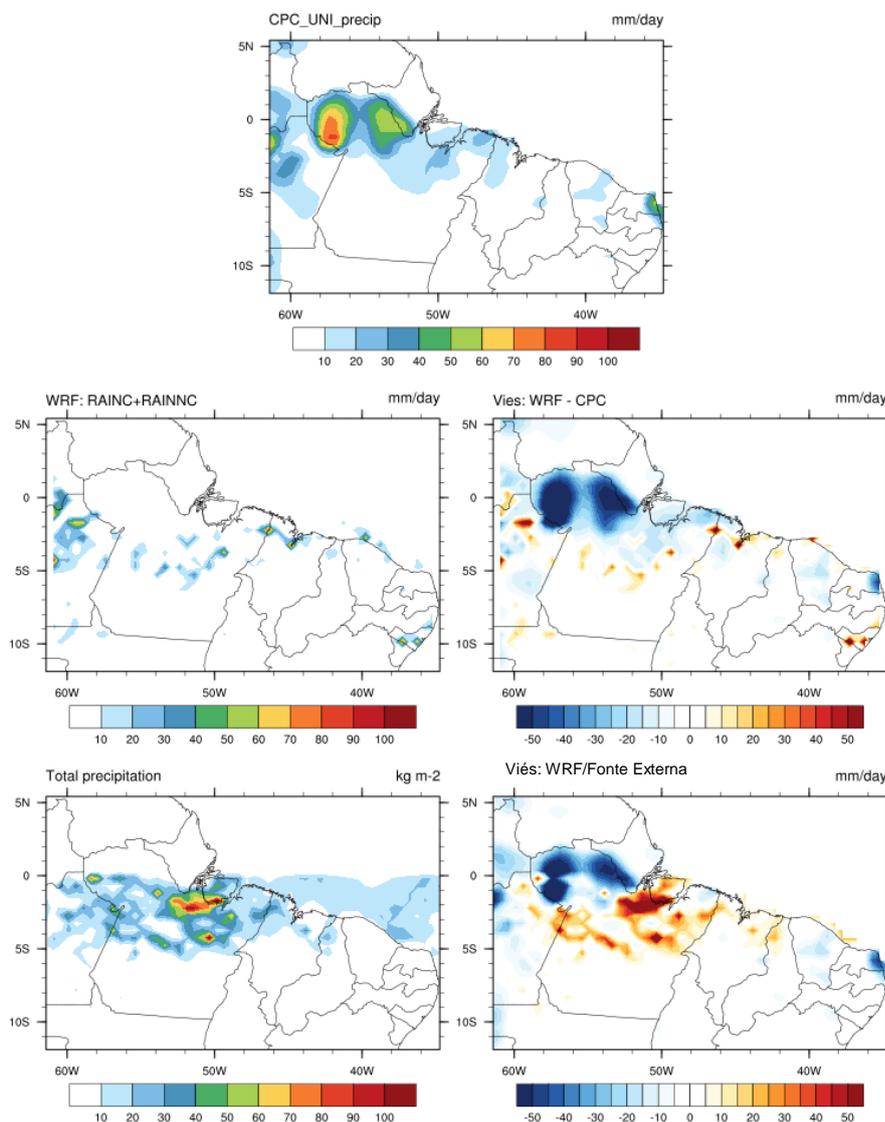
APÊNDICE B-5: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 30/03/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-03-30_00:00:00



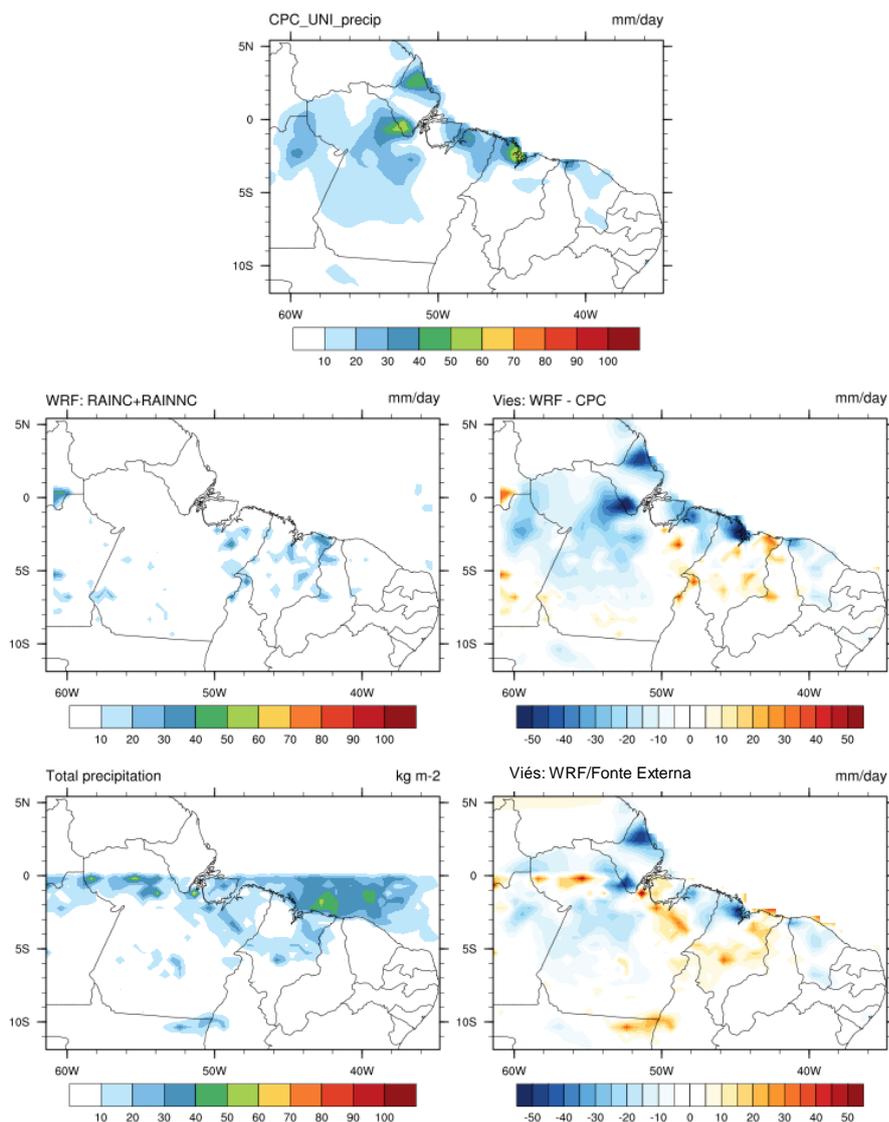
APÊNDICE B-6: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 31/03/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-03-31_00:00:00



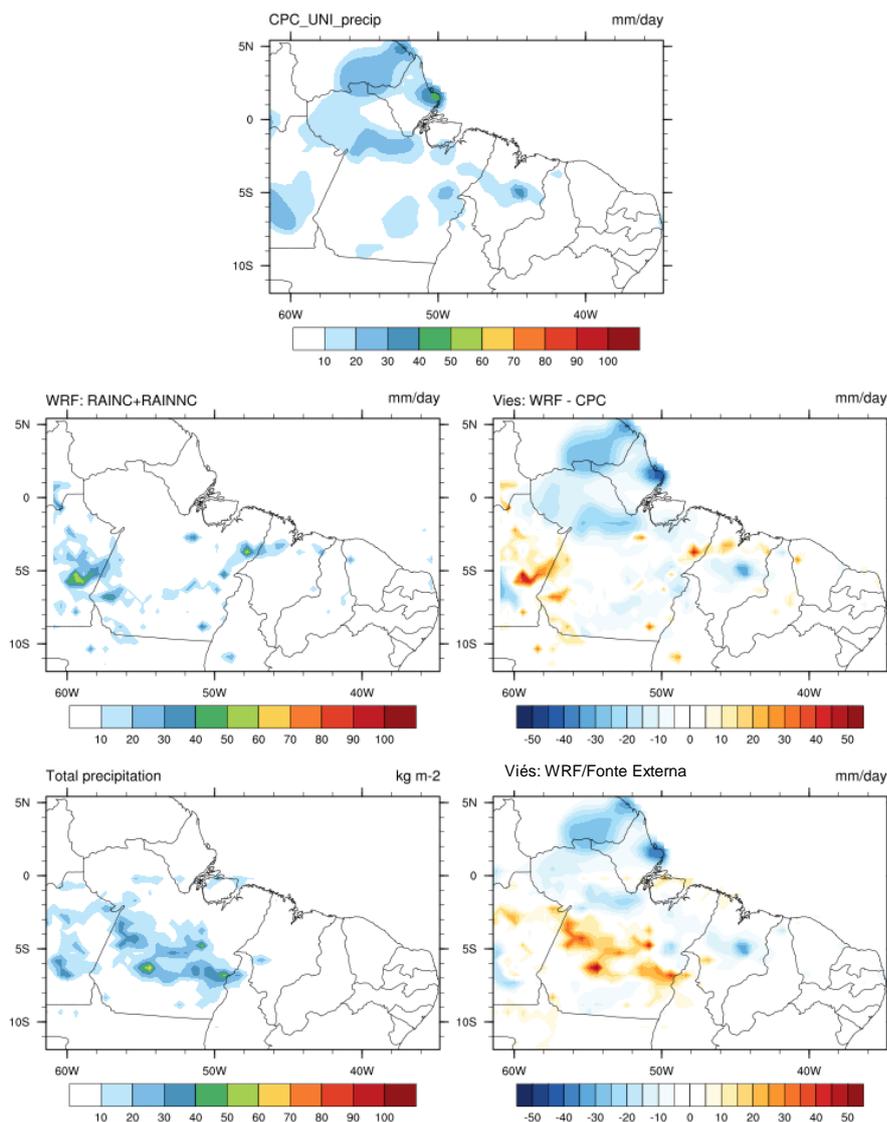
APÊNDICE B-7: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 01/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-01_00:00:00



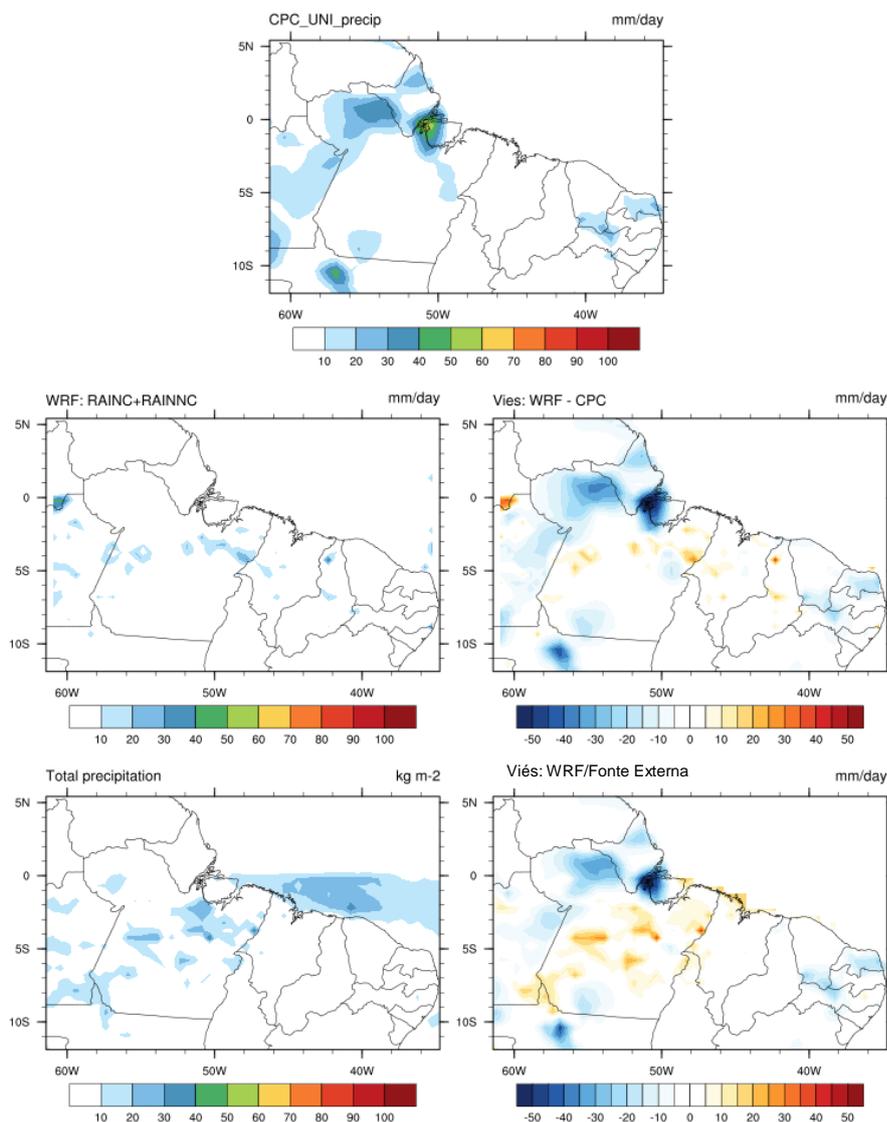
APÊNDICE B-8: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 02/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-02_00:00:00



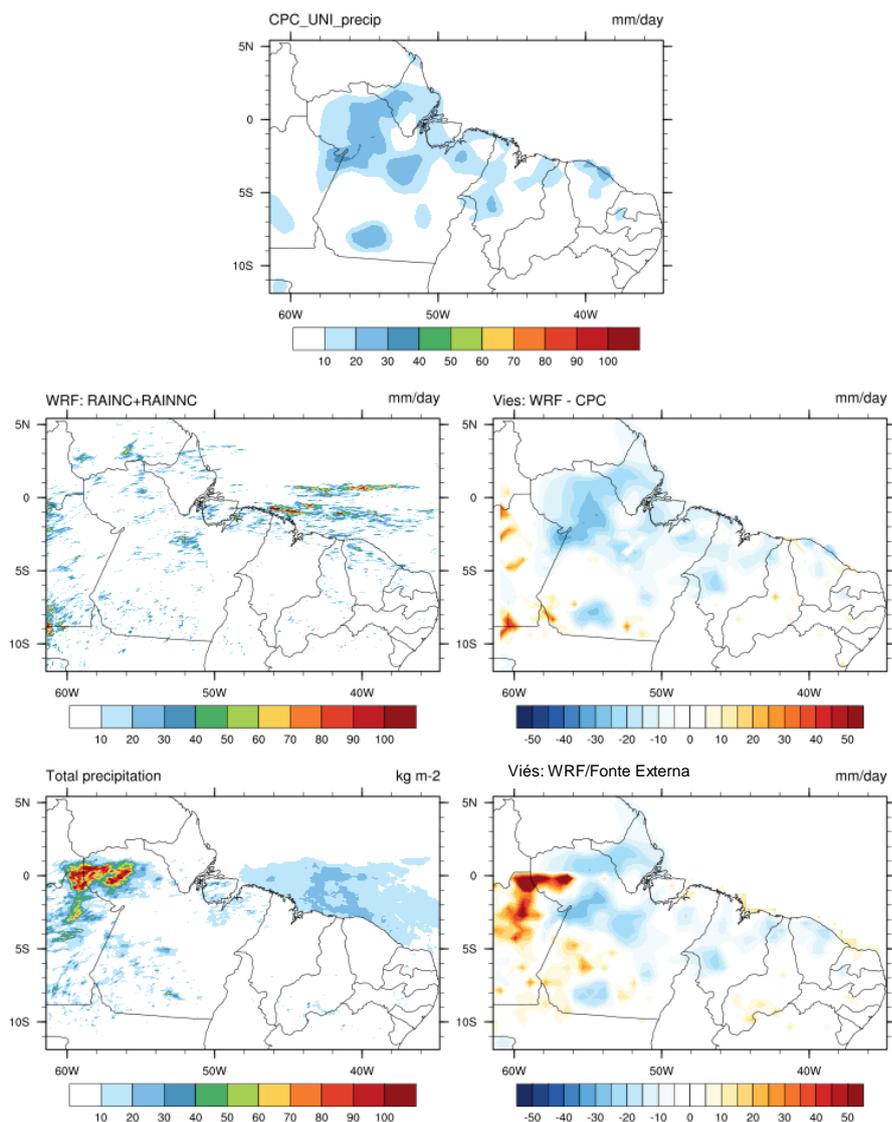
APÊNDICE B-9: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 03/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-03_00:00:00



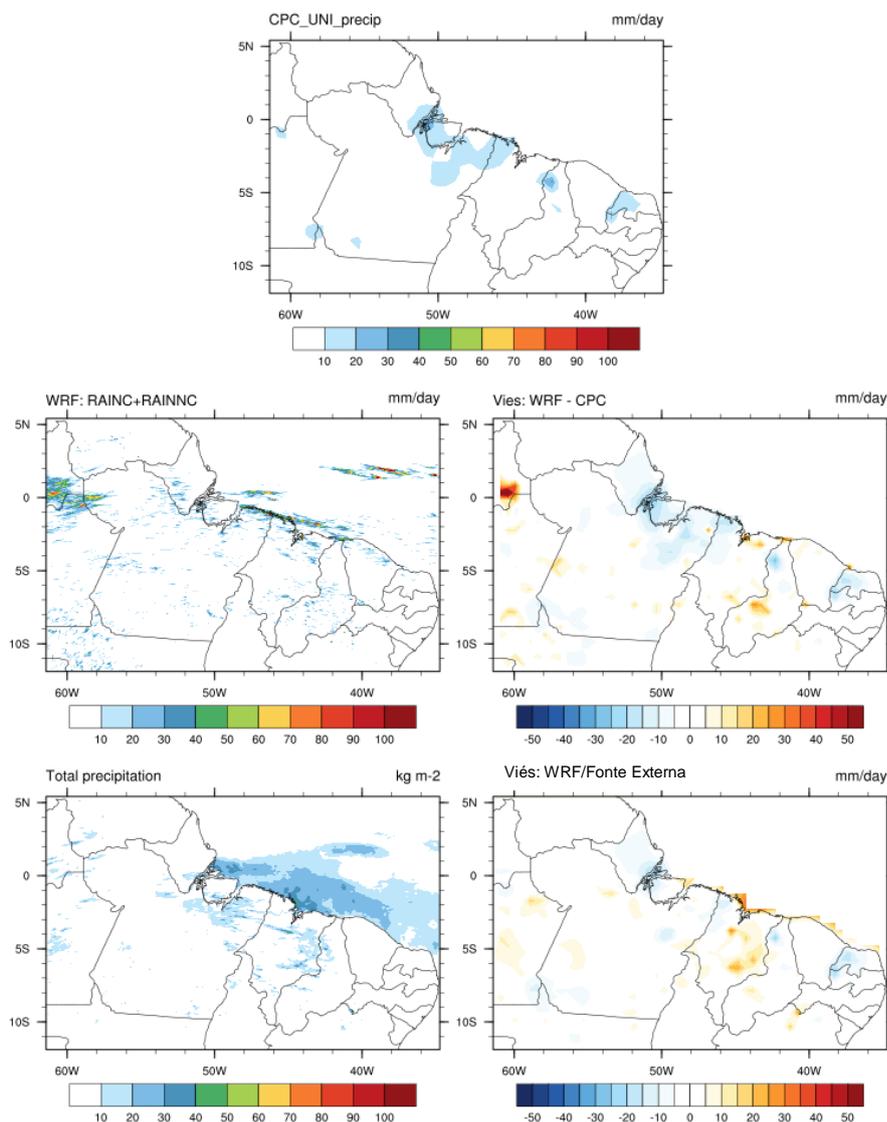
APÊNDICE B-10: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 04/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-04_00:00:00



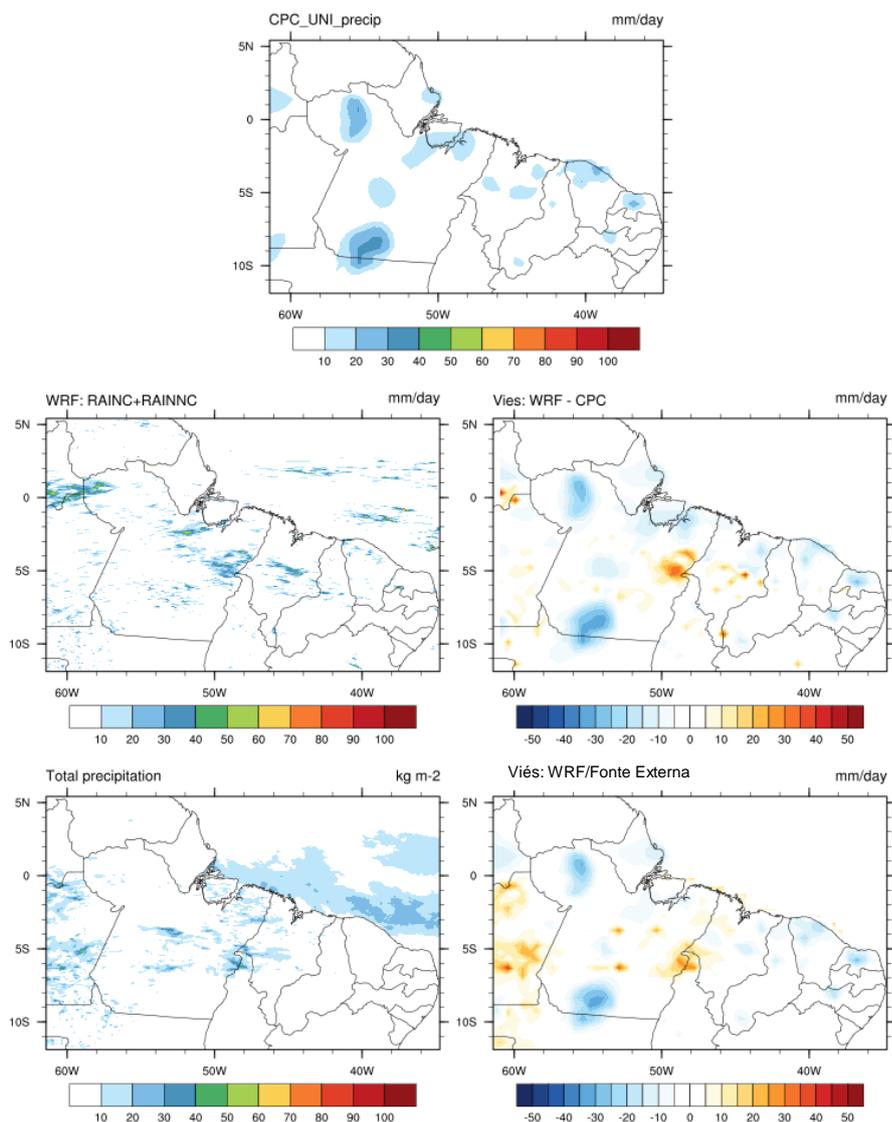
APÊNDICE B-11: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 05/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-05_00:00:00



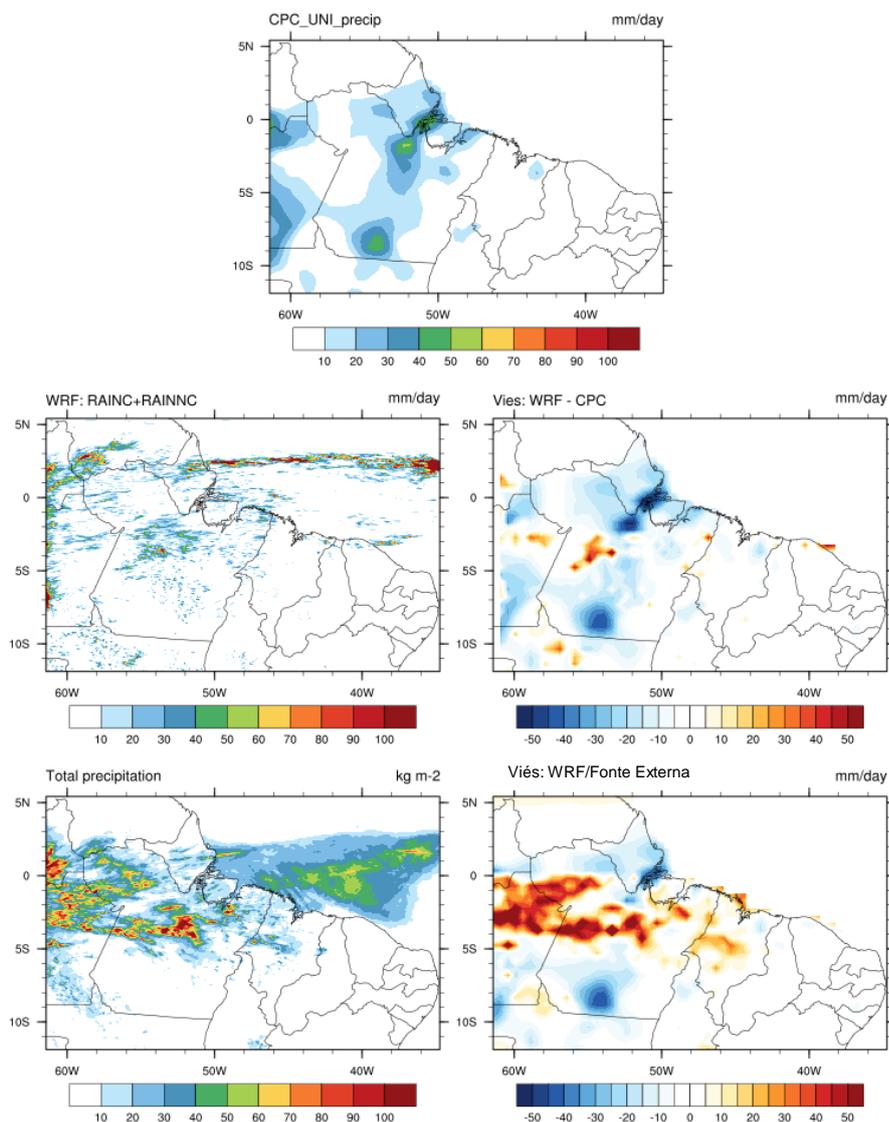
APÊNDICE B-12: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 06/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-06_00:00:00



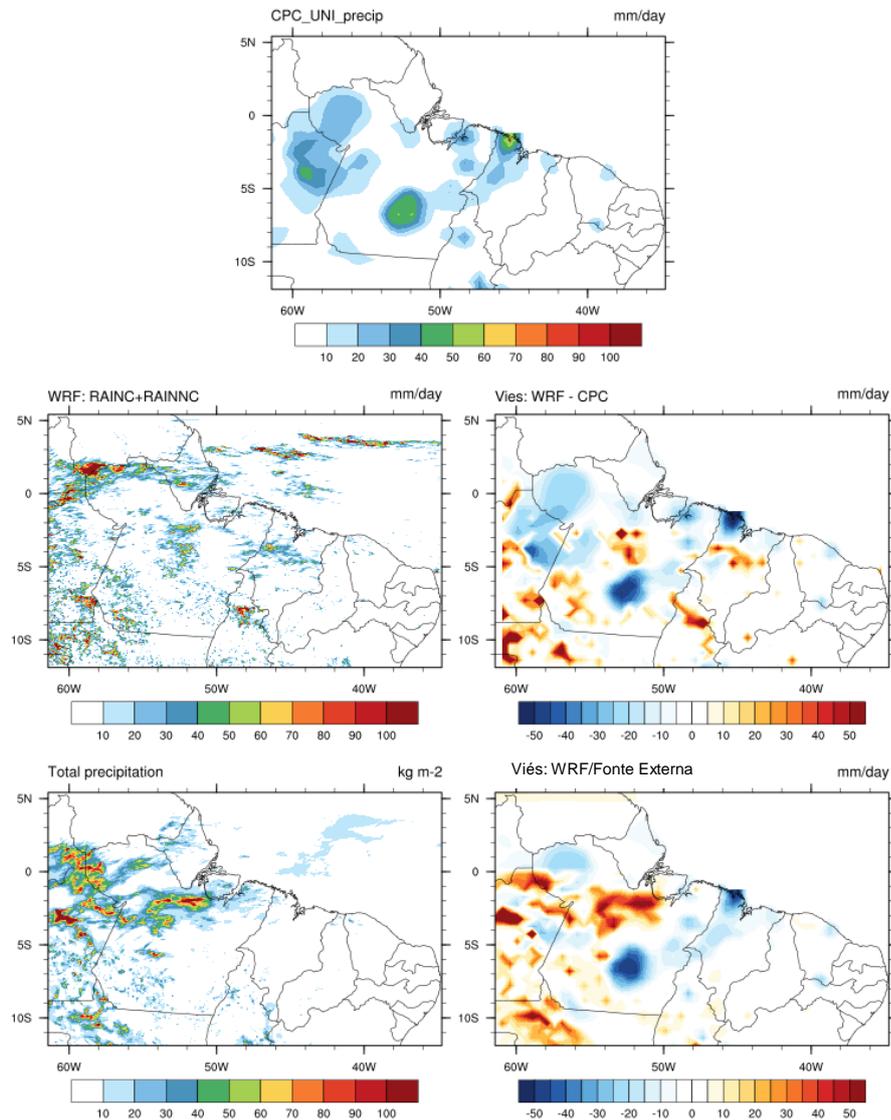
APÊNDICE B-13: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 08/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-08_00:00:00



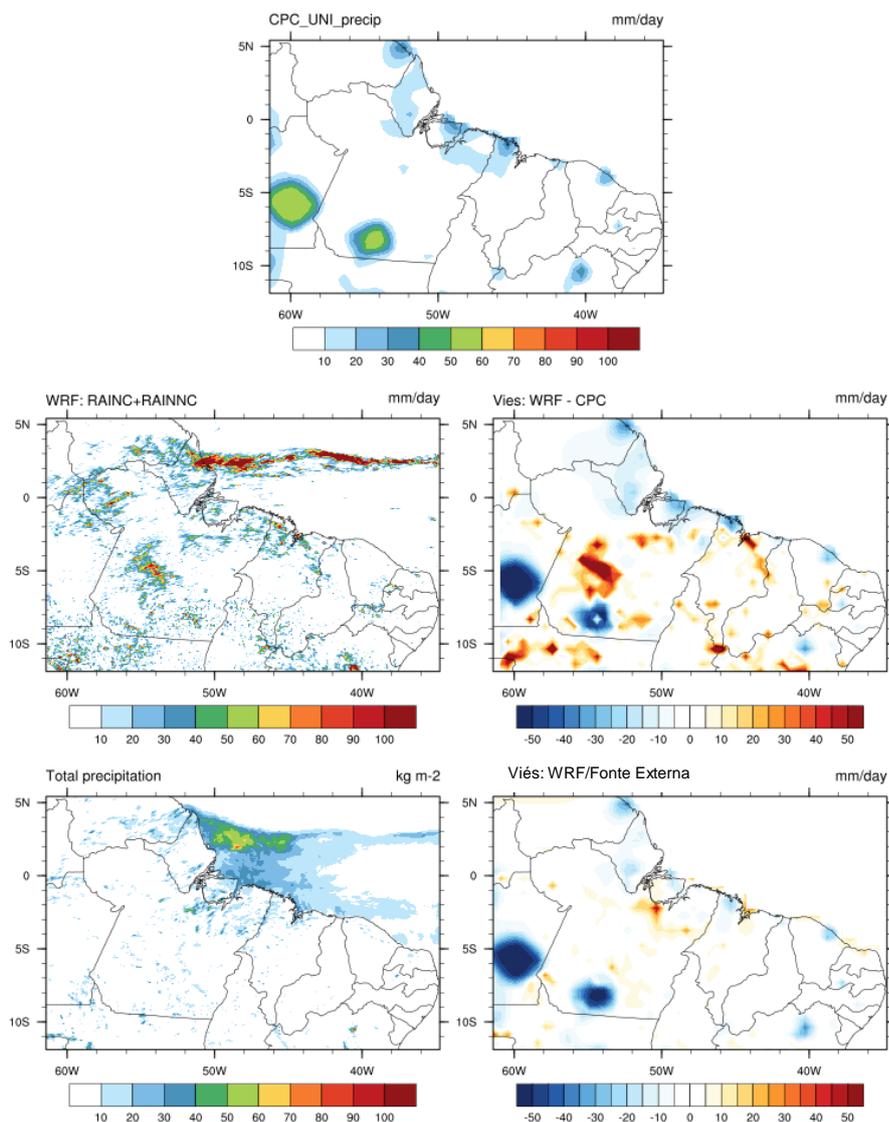
APÊNDICE B-14: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 09/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-09_00:00:00



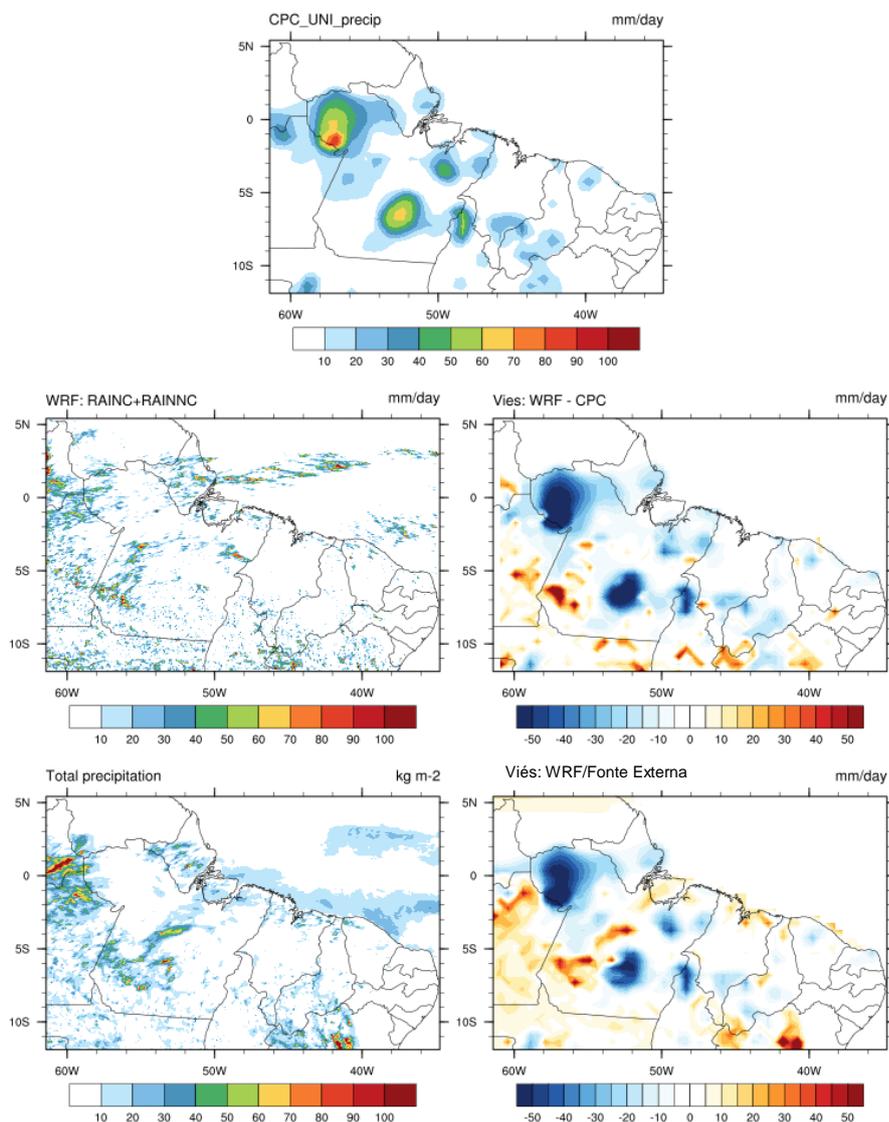
APÊNDICE B-15: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 10/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-10_00:00:00



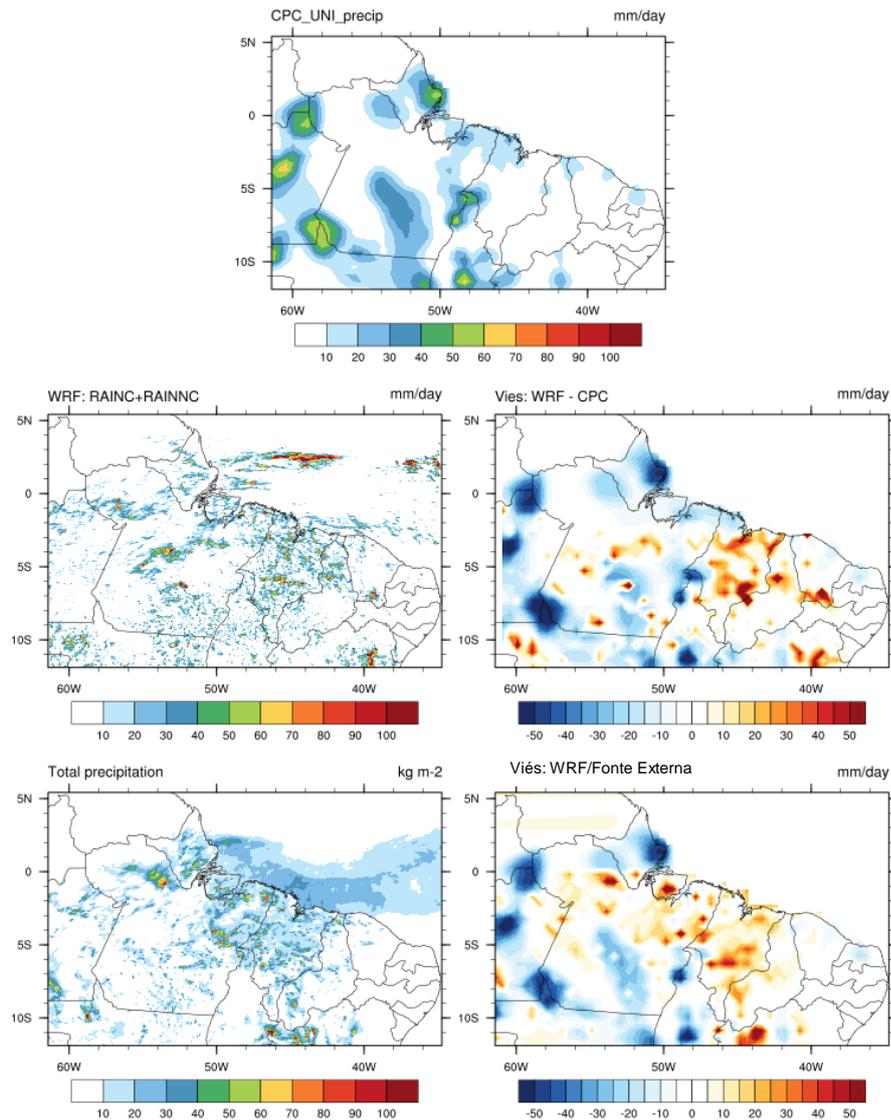
APÊNDICE B-16: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 11/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-11_00:00:00



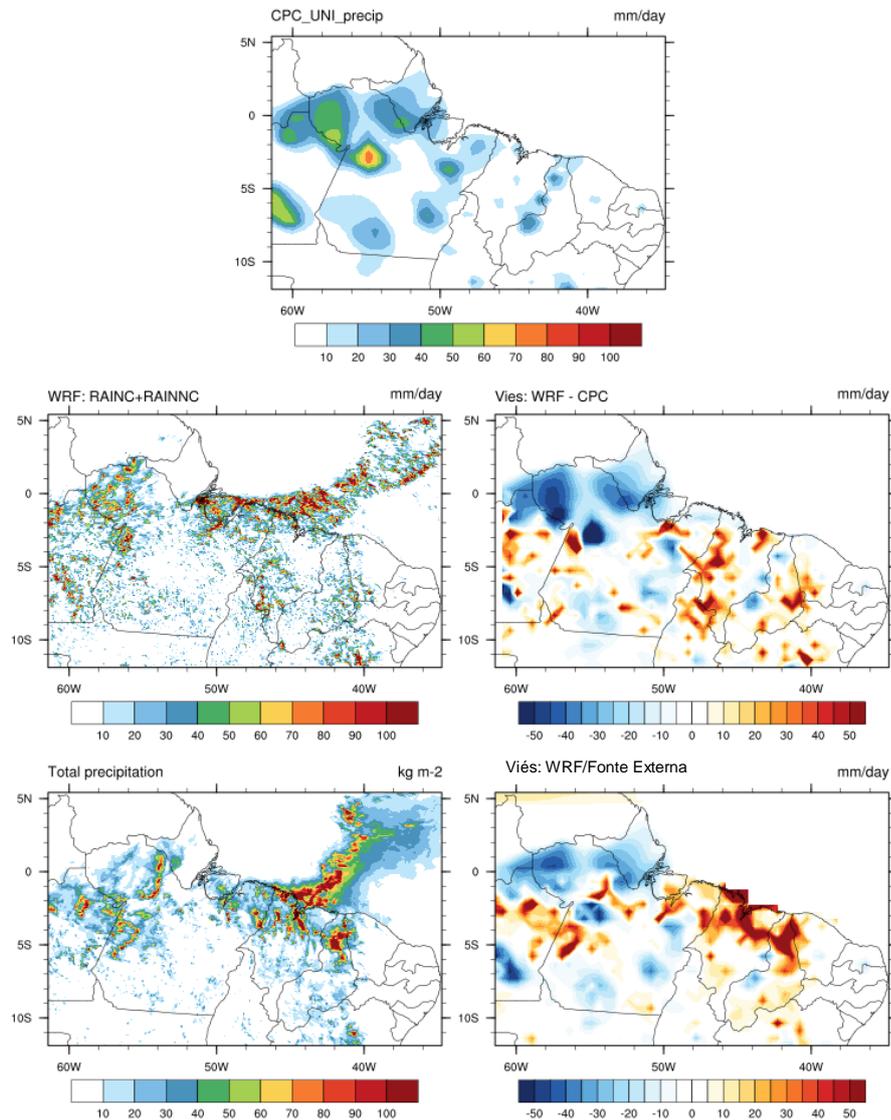
APÊNDICE B-17: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 12/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-12_00:00:00



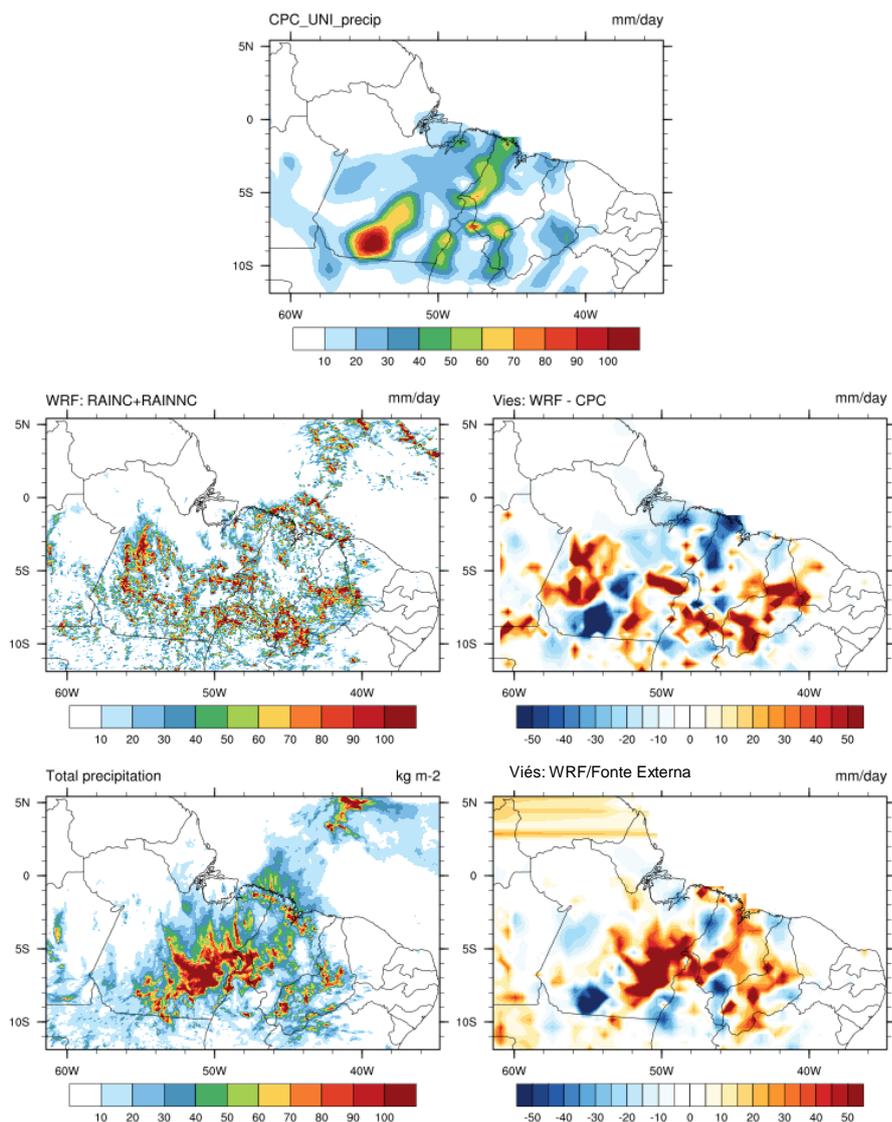
APÊNDICE B-18: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 13/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-13_00:00:00



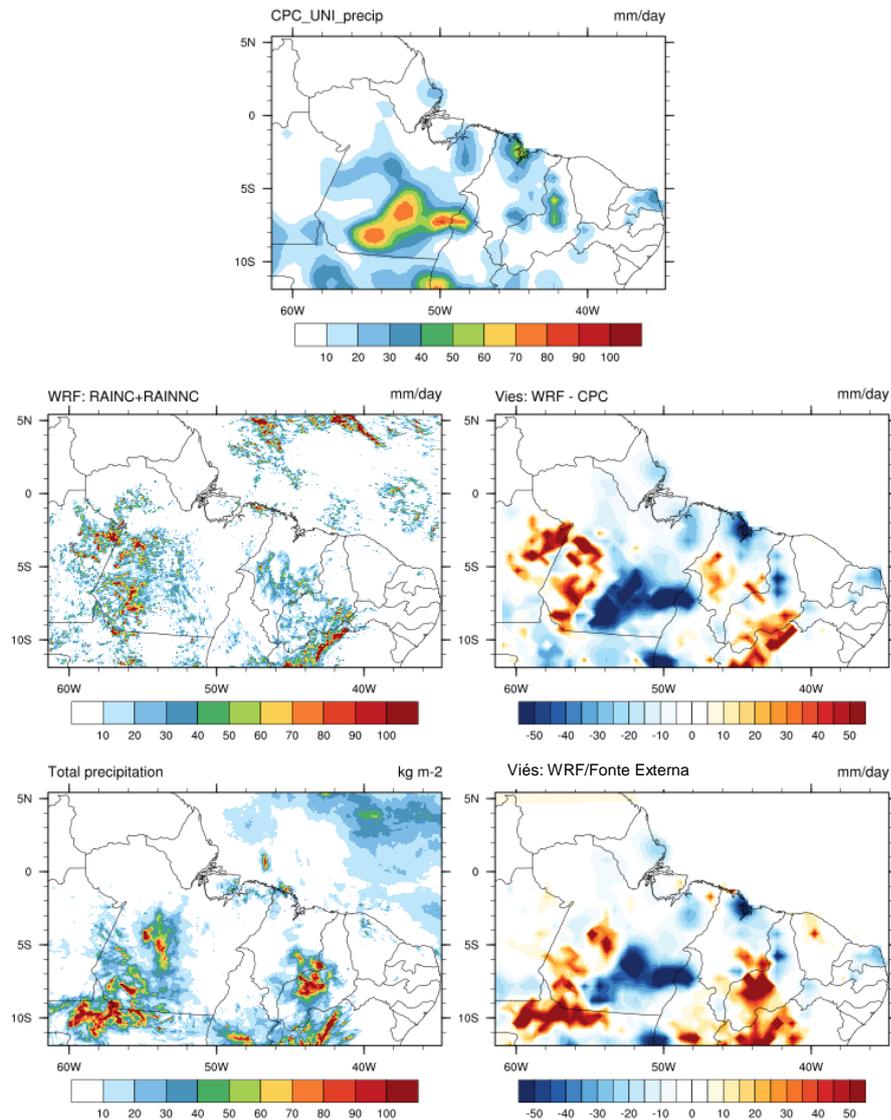
APÊNDICE B-19: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 14/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-14_00:00:00



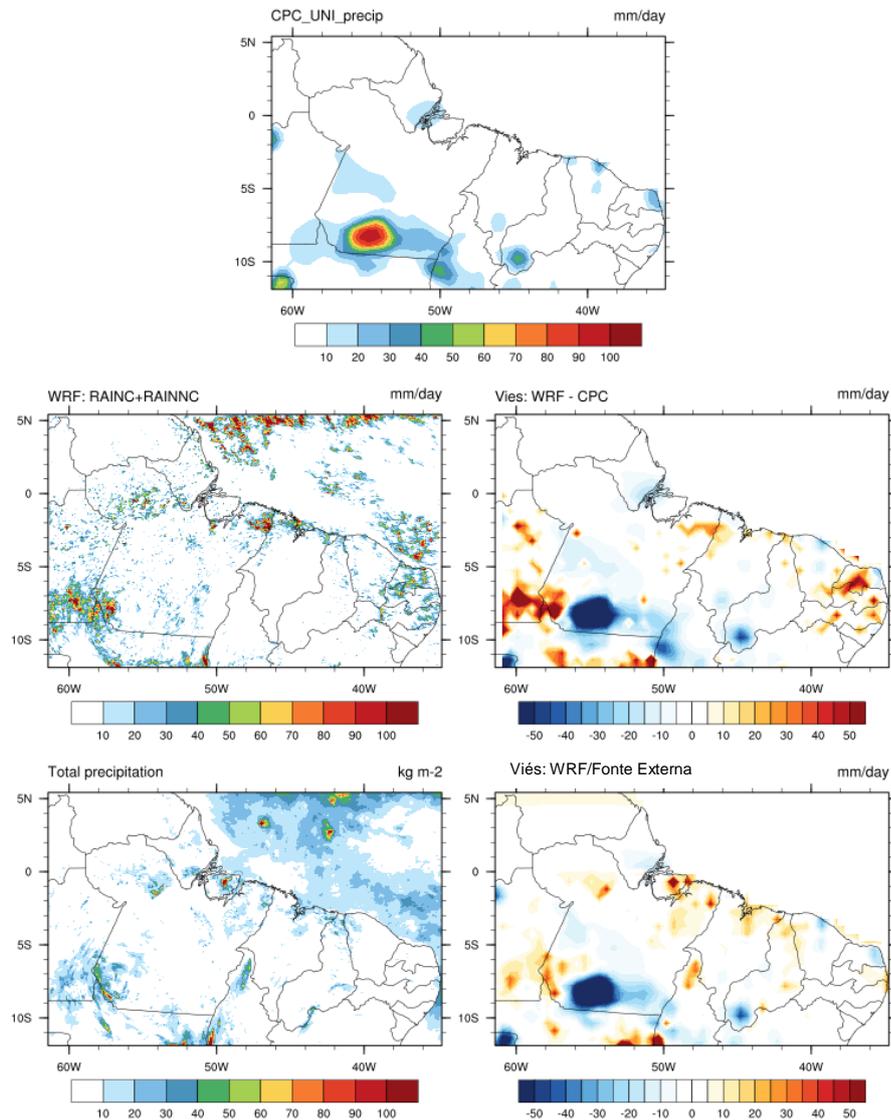
APÊNDICE B-20: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 15/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-15_00:00:00



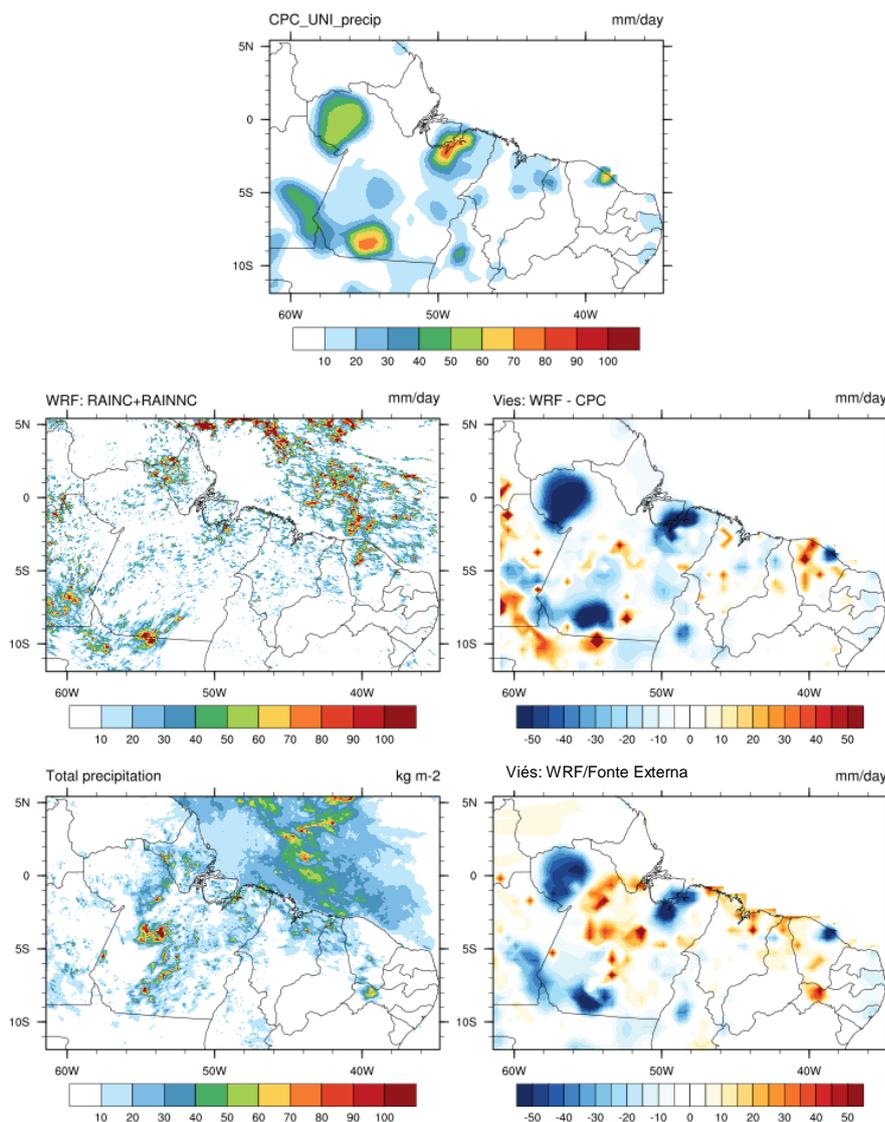
APÊNDICE B-21: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 16/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-16_00:00:00



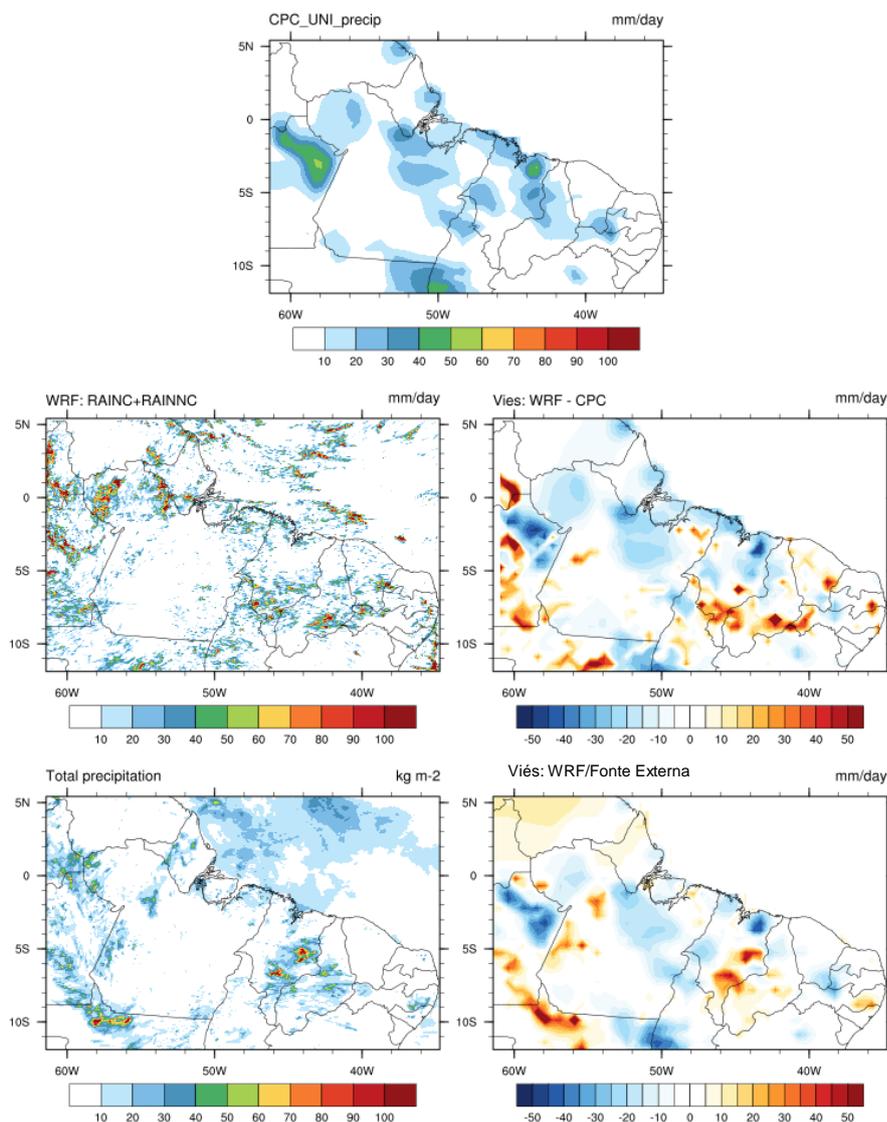
APÊNDICE B-22: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 17/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-17_00:00:00



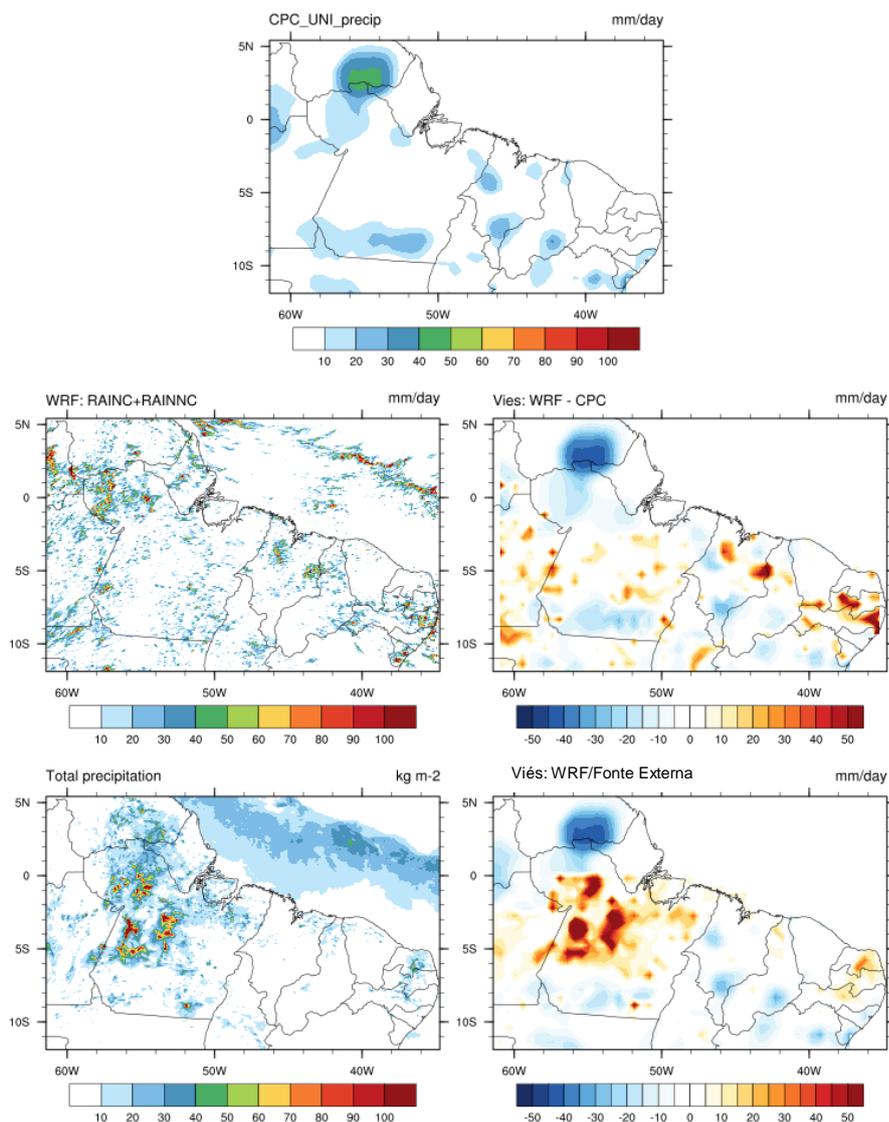
APÊNDICE B-23: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 18/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-18_00:00:00



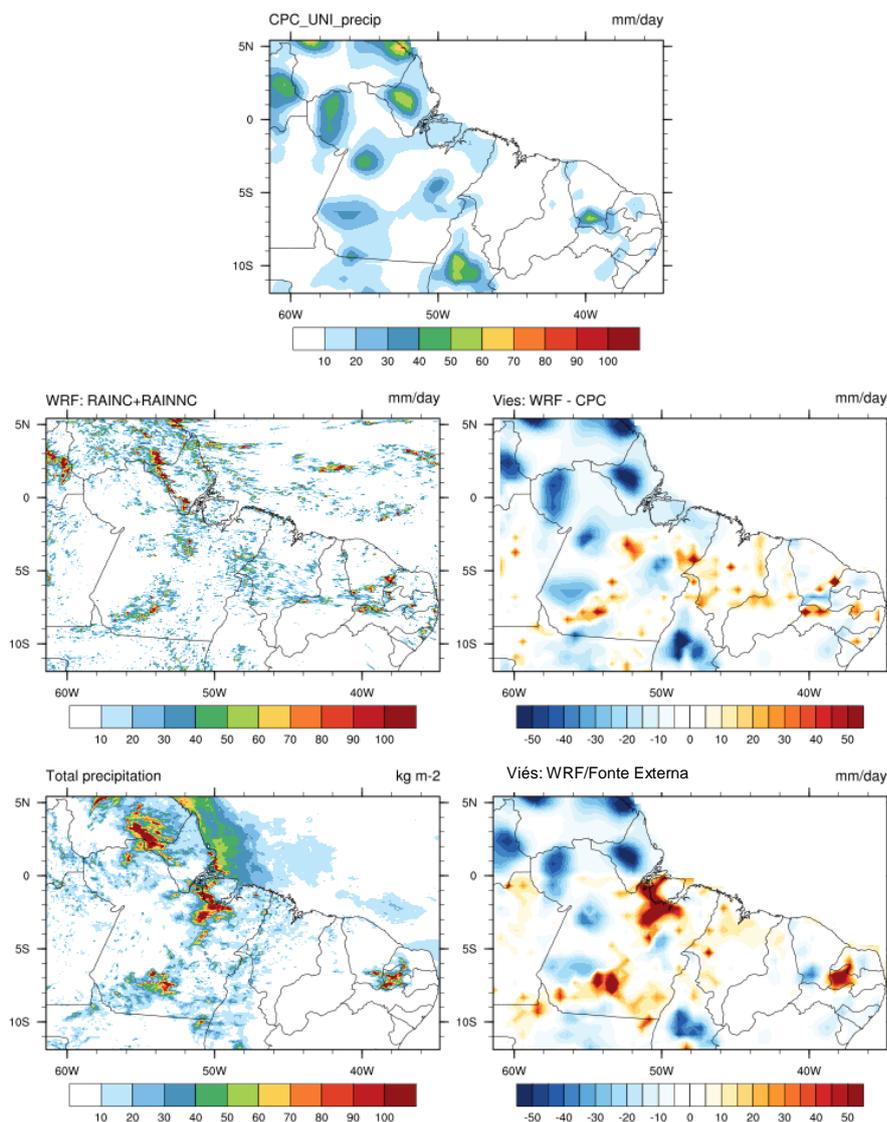
APÊNDICE B-24: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 19/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-19_00:00:00



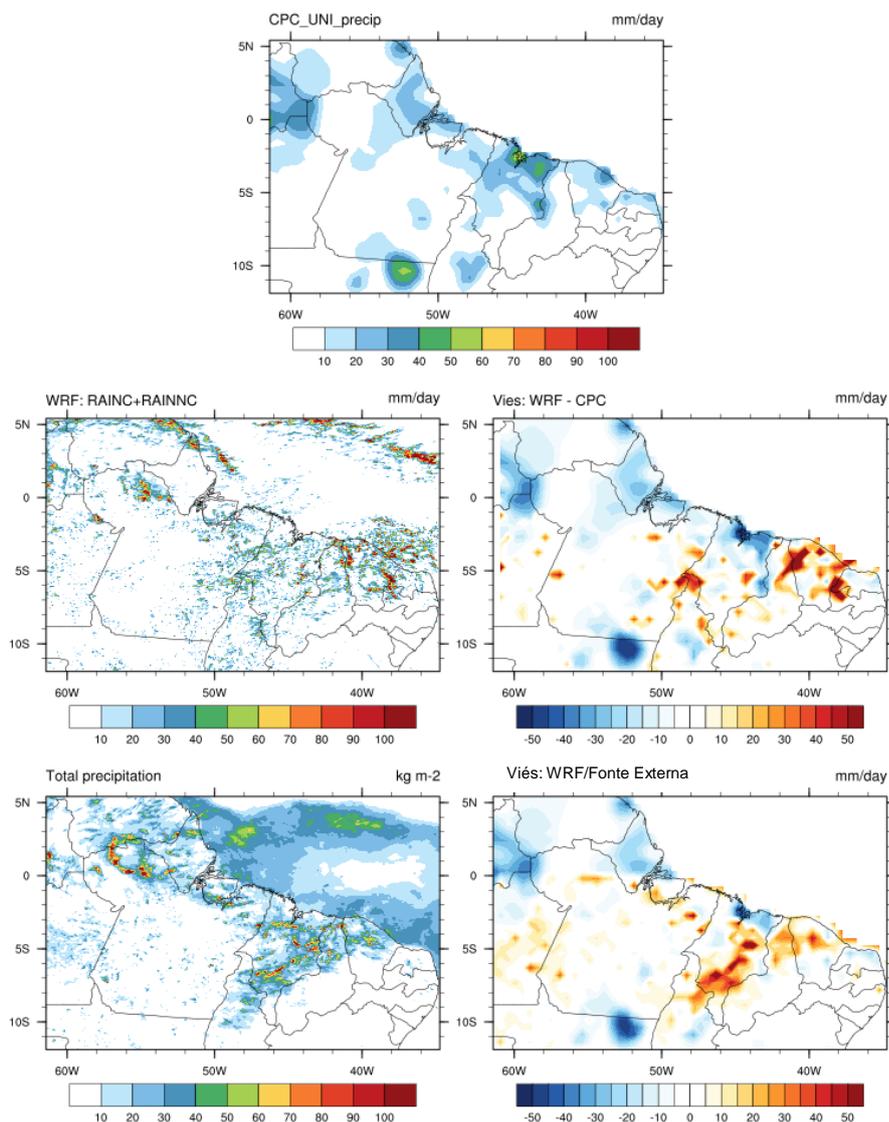
APÊNDICE B-25: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 20/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-20_00:00:00



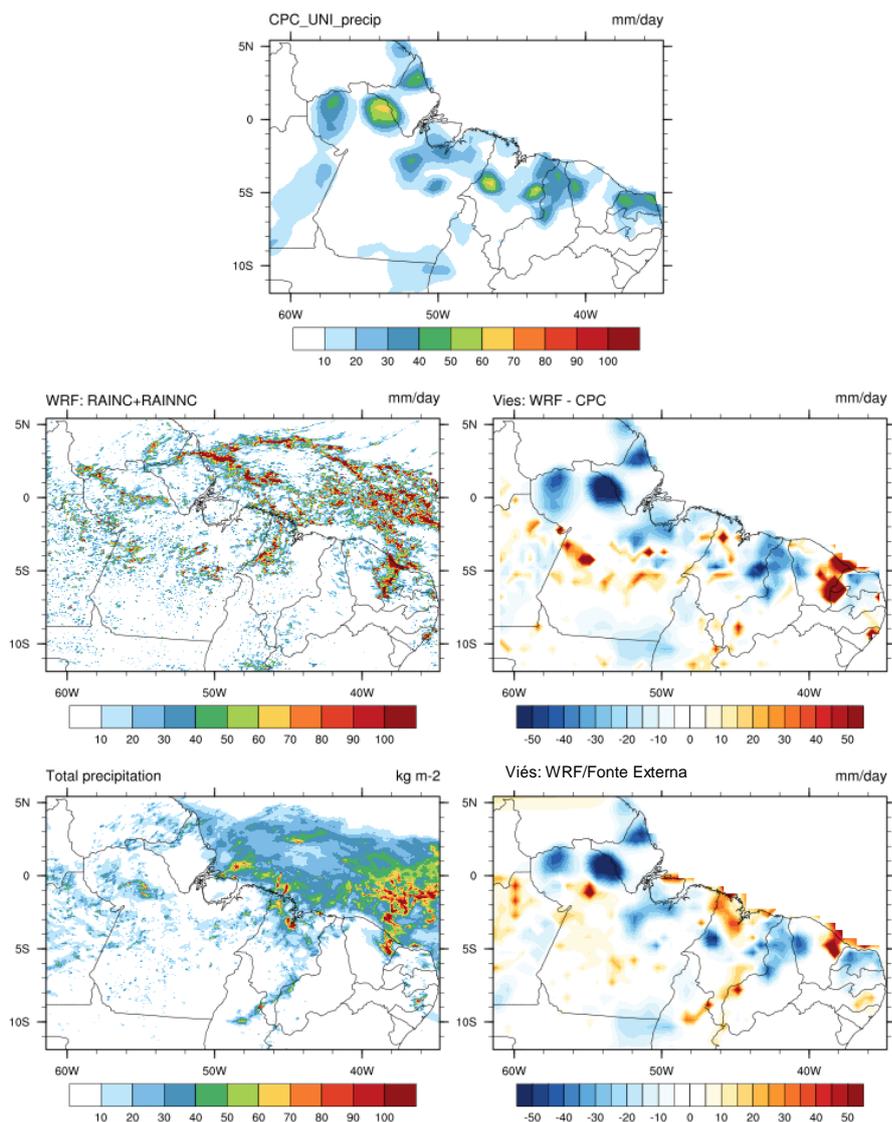
APÊNDICE B-26: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 21/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-21_00:00:00



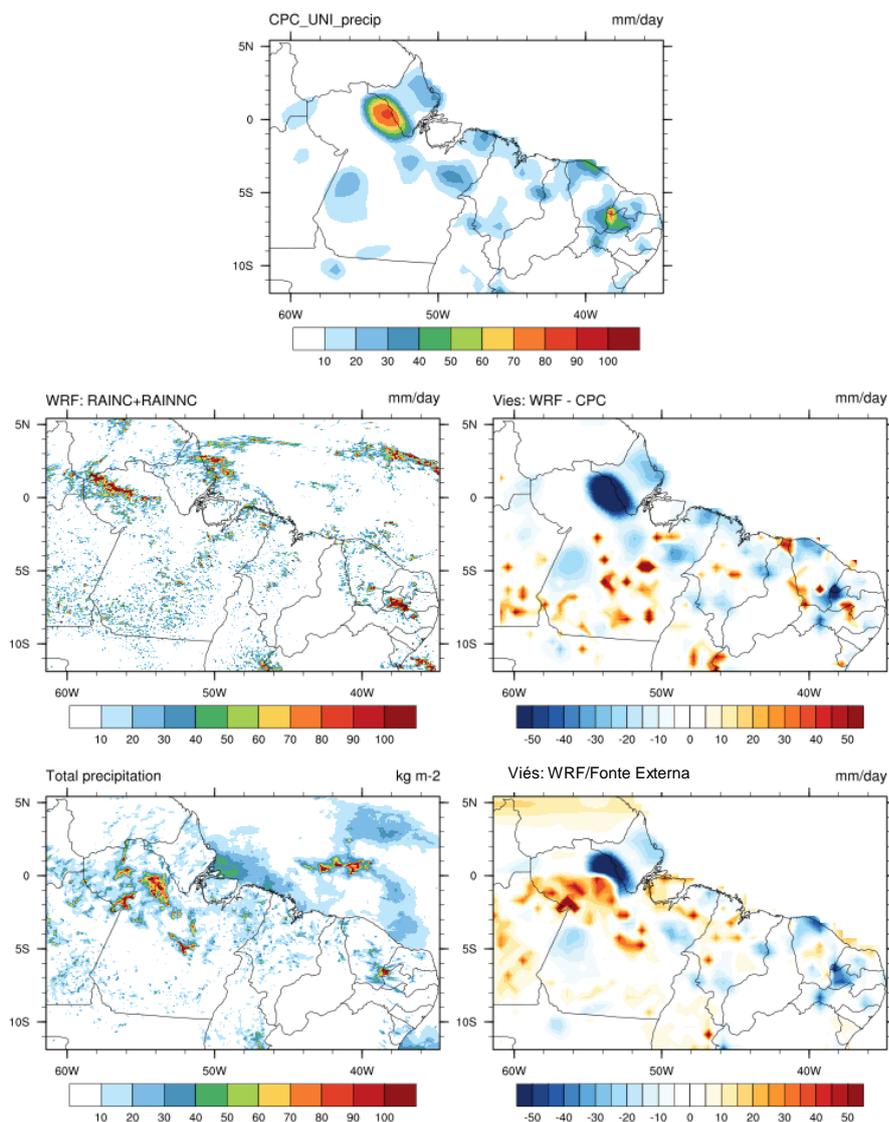
APÊNDICE B-27: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 22/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-22_00:00:00



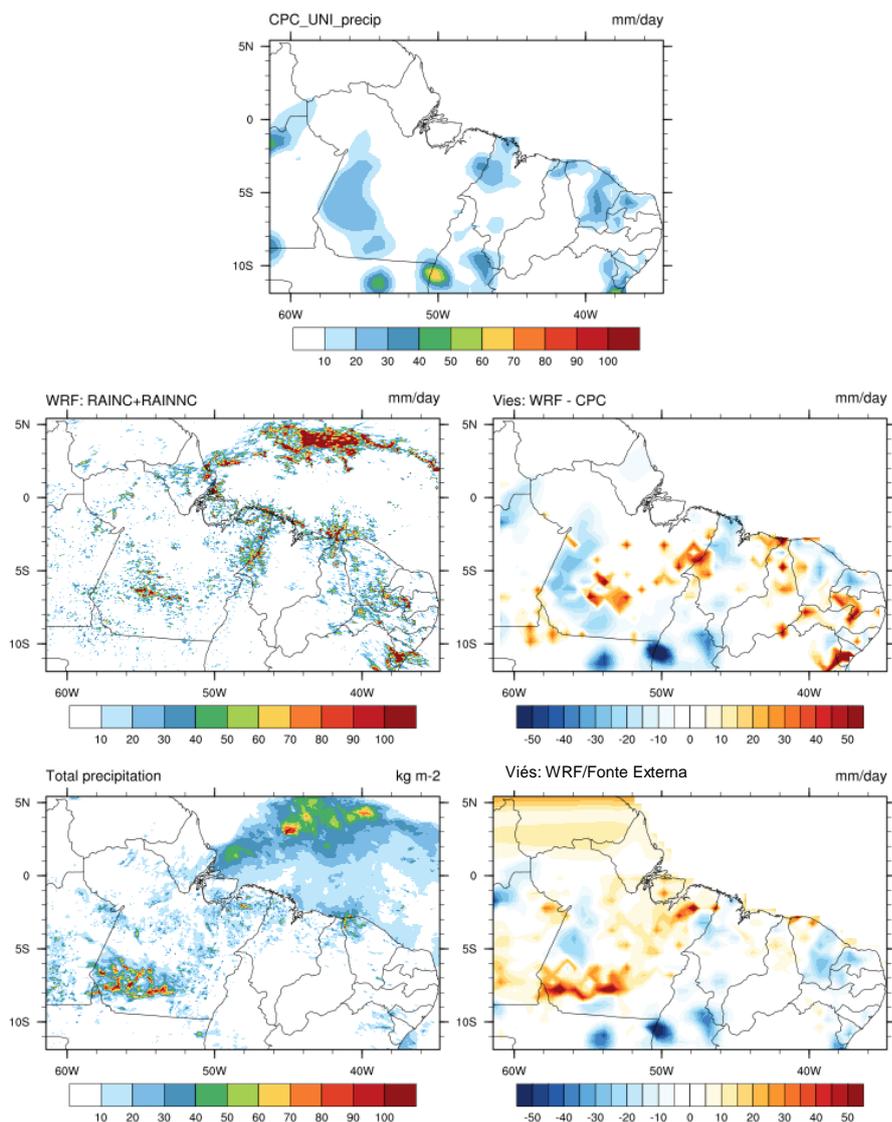
APÊNDICE B-28: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 23/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-23_00:00:00



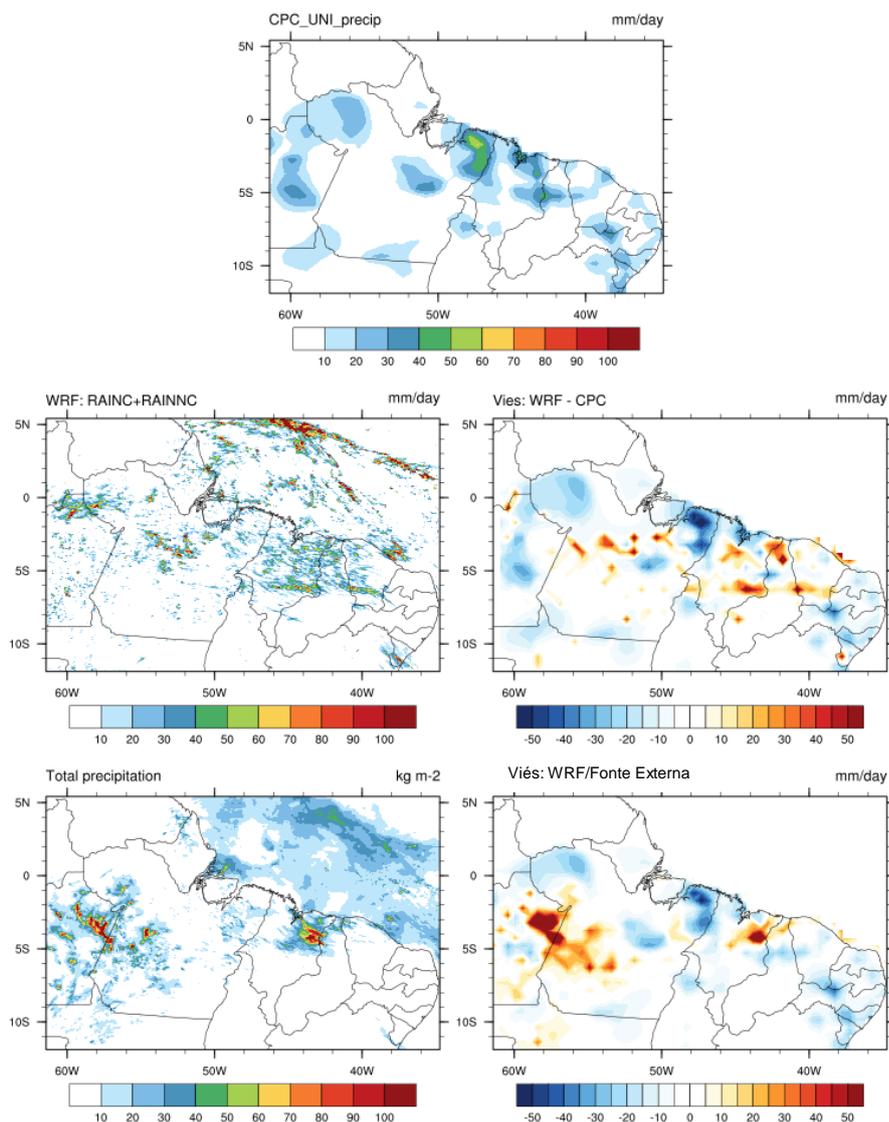
APÊNDICE B-29: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 24/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-24_00:00:00



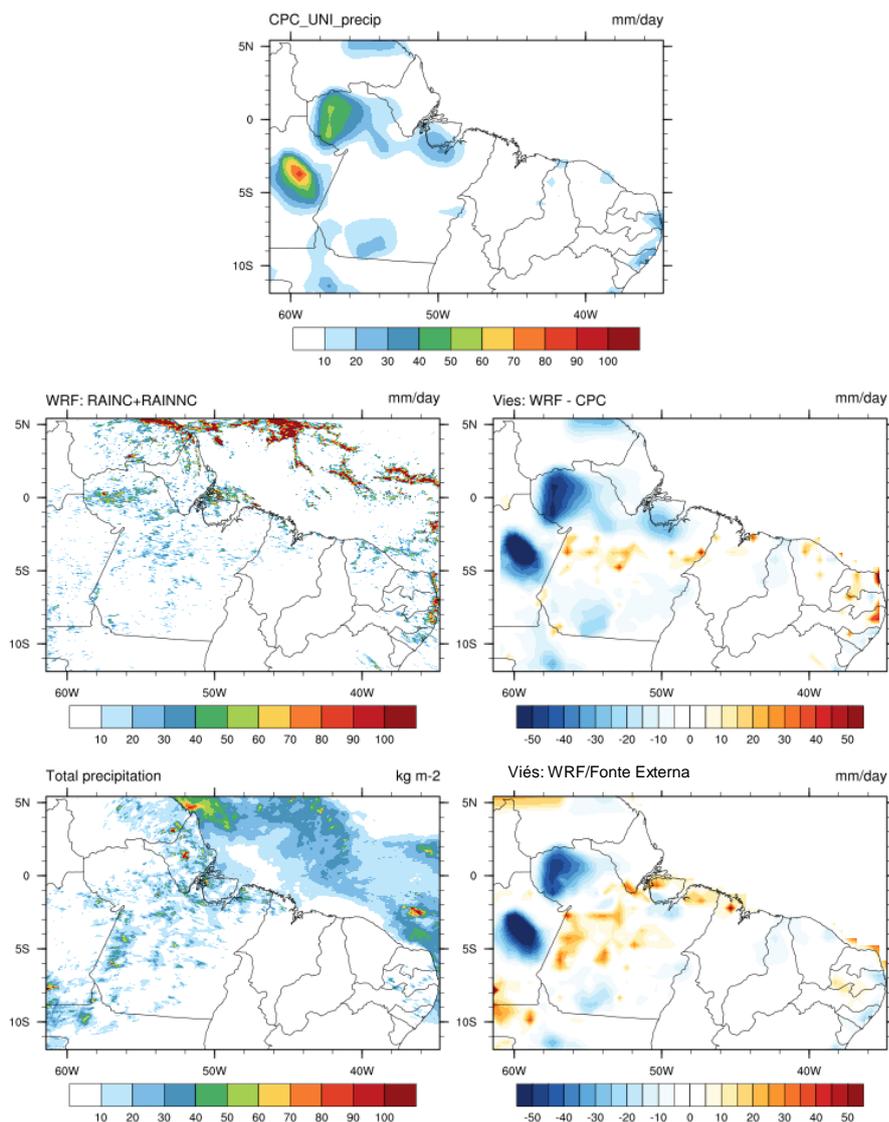
APÊNDICE B-30: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 25/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-25_00:00:00



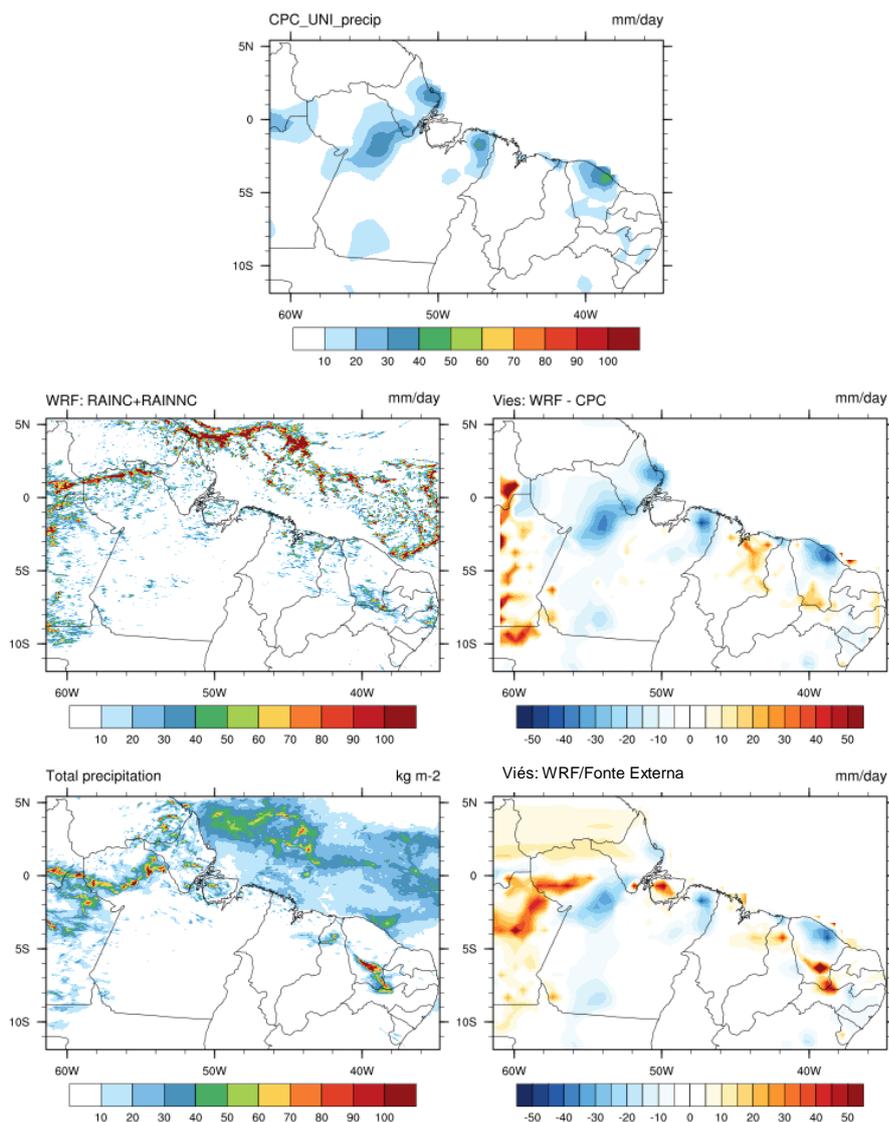
APÊNDICE B-31: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 26/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-26_00:00:00



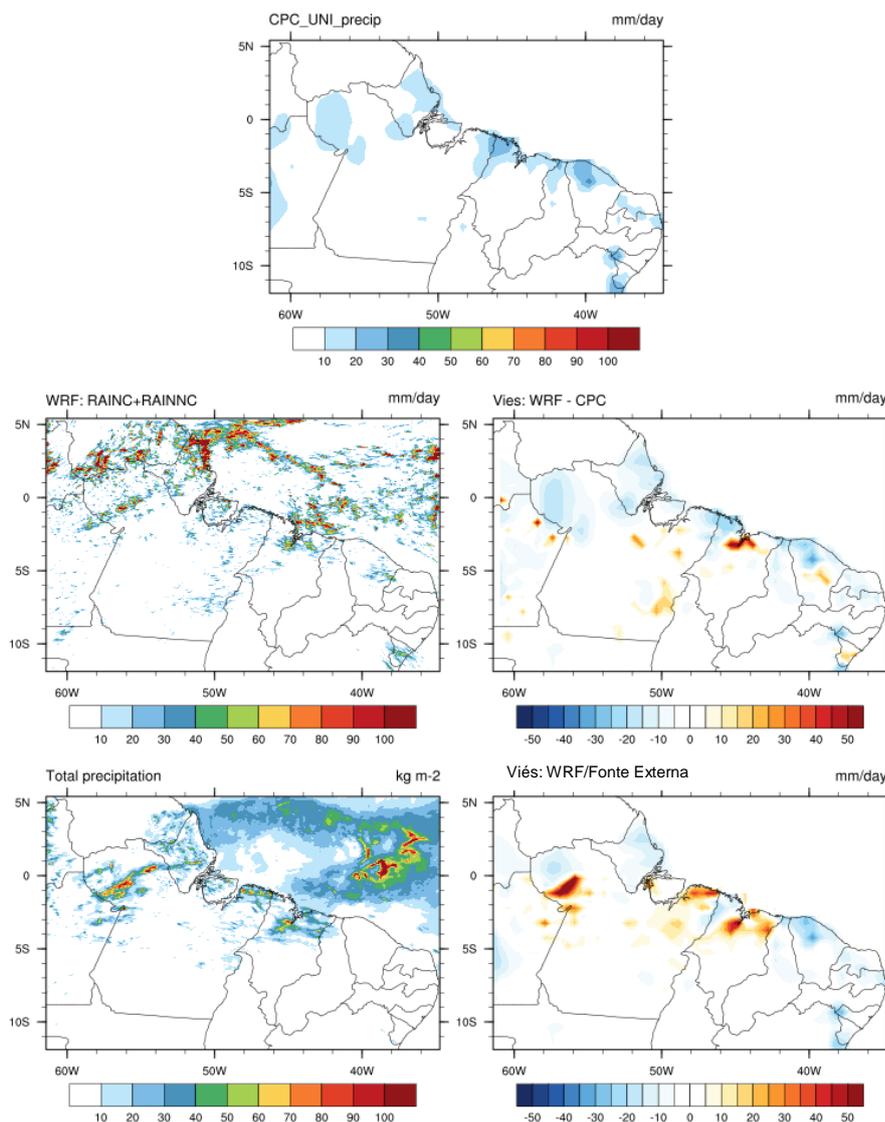
APÊNDICE B-32: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 27/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-27_00:00:00



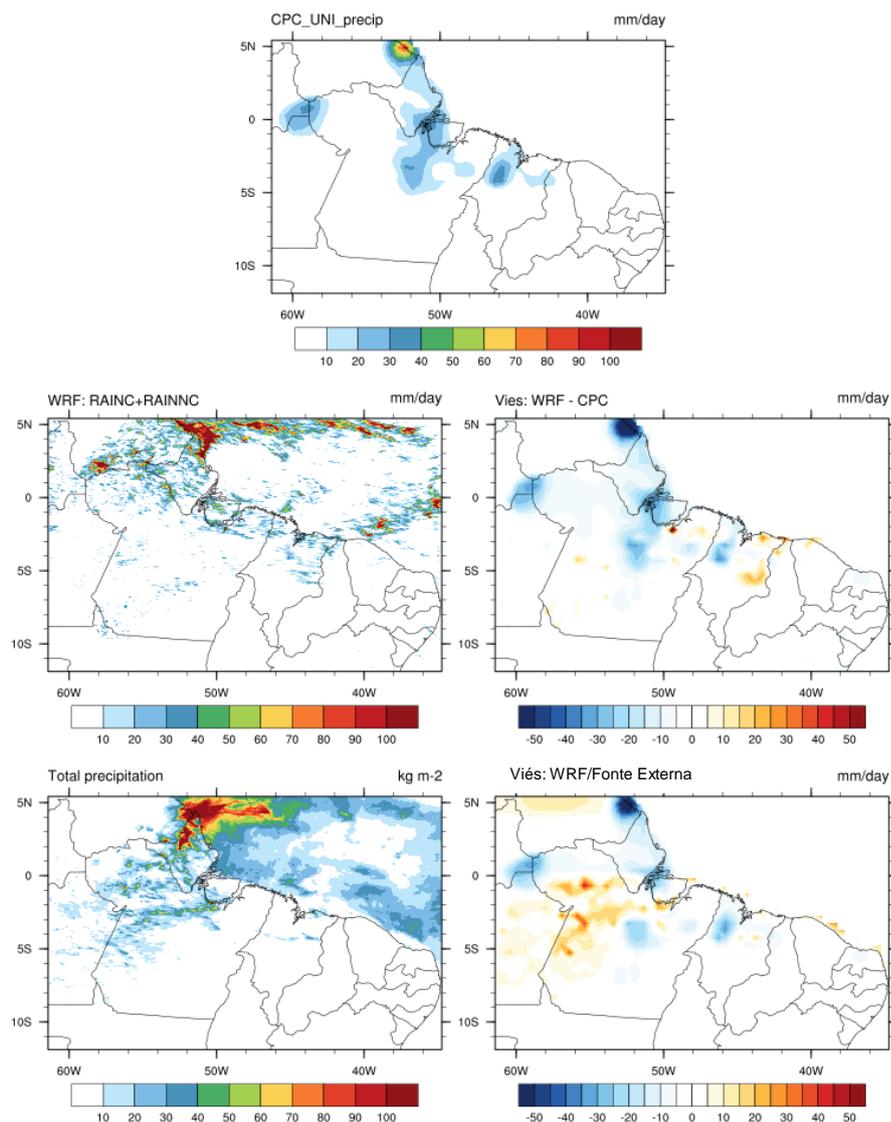
APÊNDICE B-33: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 28/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-28_00:00:00



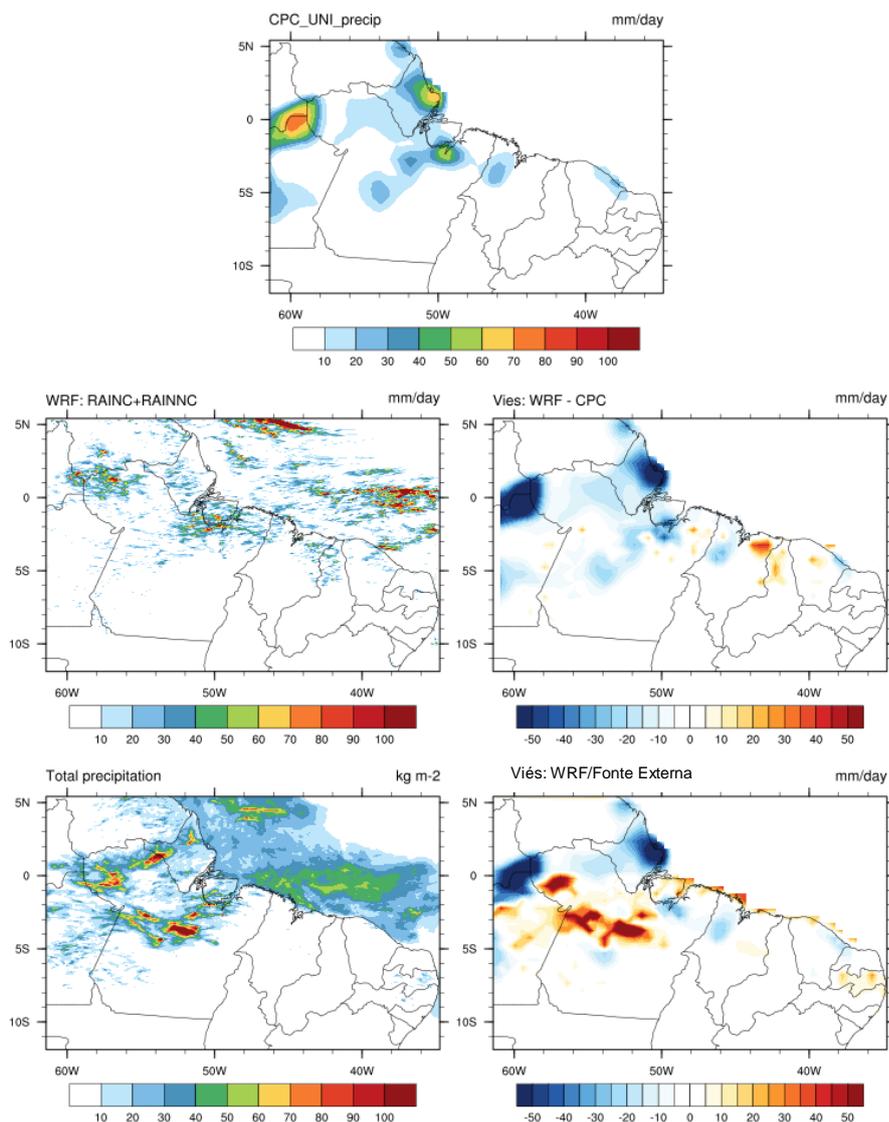
APÊNDICE B-34: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 29/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-29_00:00:00



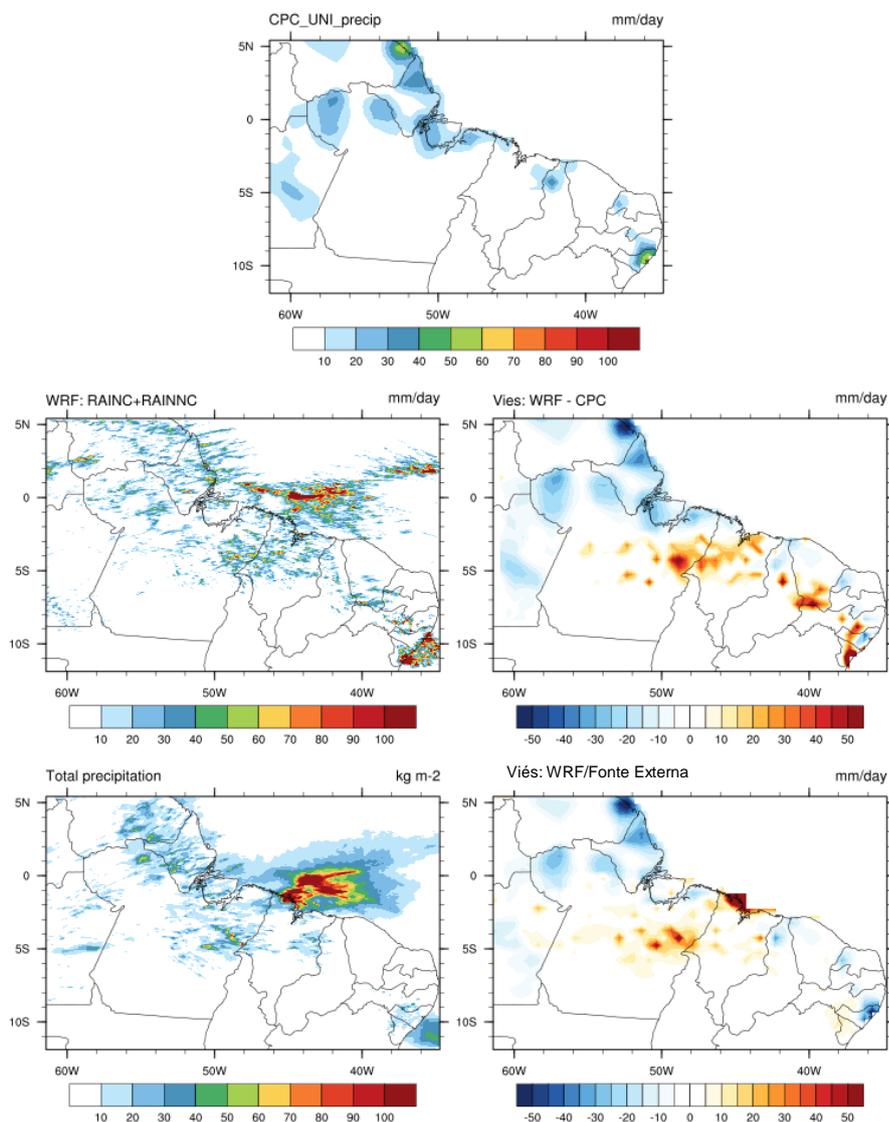
APÊNDICE B-35: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 30/04/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-04-30_00:00:00



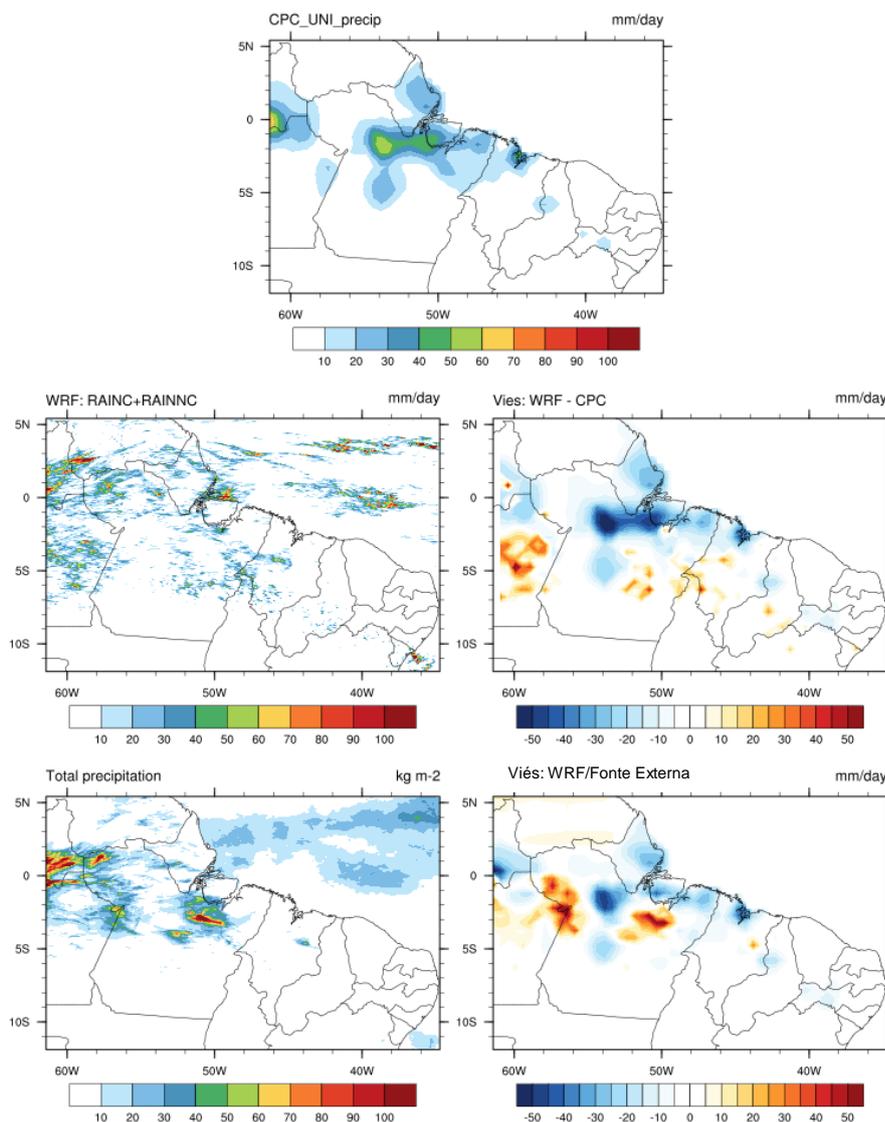
APÊNDICE B-36: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 01/05/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-05-01_00:00:00



APÊNDICE B-37: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 02/05/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-05-02_00:00:00



APÊNDICE B-38: Dados observados de precipitação do CPC (painel superior), previsão de precipitação derivada do modelo WRF (painel intermediário esquerdo), viés da previsão de precipitação do WRF com as observações do CPC (painel intermediário direito), precipitação prevista pelo WRF da fonte externa (painel inferior esquerdo) e viés da previsão de precipitação da fonte externa com as observações do CPC (painel inferior direito) para o dia 03/05/2020.

WRF d02 | Tempo: 2020-05-03_00:00:00

