



AVALIAÇÃO DA PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO DESENVOLVIDA PELO GTEAM

Leanderson Marcos da Silva Paiva*
Yasmin Macaio do Vale de Oliveira
Júlia Gouvêa Freire

DOI: <https://doi.org/10.23901/1679-4605.2025v19n1p236-247>

RESUMO

As observações meteorológicas têm mostrado que os fenômenos meteorológicos extremos estão cada vez mais frequentes, principalmente devido aos desequilíbrios observados nas variabilidades climáticas naturais, agravados pelas ações antropogênicas, o que acarreta um aumento de desastres naturais. Os casos das tempestades associadas as chuvas muito intensas, ventos fortes e ocorrência de deslizamentos de terra, como os ocorridos em Petrópolis - RJ em fevereiro de 2022 e em São Sebastião - SP em fevereiro de 2023, são exemplos do aumento da ocorrência dos fenômenos extremos, que causam impactos irreparáveis em cidades que crescem desorganizadas e sem resiliência. Na cidade do Rio de Janeiro, um sistema de alerta de tempo severo foi desenvolvido para mitigar os impactos causados pelos fenômenos extremos, principalmente os que resultam em morte por soterramento, que consiste em uma rede pluviométrica, sirenes instaladas em áreas de encostas, e avisos por mensagens de texto do tipo *Short Message Service* (SMS), mas que ainda é incipiente. Nós do Grupo Técnico de Estudos e Aplicações em Meteorologia (GTEAM) temos desenvolvido alguns projetos de extensão e pesquisa no âmbito escolar, que entendemos ser de interesse para sociedade e que podem ajudar cada indivíduo na sua tomada de decisão. O nosso principal objetivo é tornar público os protótipos e, principalmente, os produtos da Previsão Numérica do Tempo (PNT), associados as avaliações da sua eficiência, além de disseminar alertas meteorológicos por meio do nosso portal na internet (<http://gteam.cefet-rj.br>) e pelas redes sociais. Os resultados da nossa modelagem numérica para o dia 30 de março de 2023, dia da ocorrência de uma forte tempestade na cidade do Rio de Janeiro, indicam que os valores das variáveis computadas pelo modelo adotado por nós apresentam boa precisão e acurácia quando comparados aos valores das medidas observadas em estações meteorológicas automáticas e que a previsão da ocorrência de chuva foi qualitativa boa.

Palavras-chave: Previsão Numérica do Tempo. Tempestades. Desastres naturais.

*Doutor em Engenharia Mecânica pela COPPE/UFRJ no ano de 2012. Atualmente, é professor de ensino básico, técnico e tecnológico do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia. Contato: leanderson.paiva@cefet-rj.br.

ASSESSMENT OF NUMERICAL WEATHER PREDICTION DEVELOPED BY GTEAM

ABSTRACT

Extreme weather events are becoming more frequent due to disruptions in natural climate variability and anthropogenic actions, leading to significant natural disasters. Events such as the storms in Petrópolis (February 2022) and São Sebastião (February 2023) underscore the growing risk in unprepared urban areas. In Rio de Janeiro, an alert system, including rain gauges, sirens, and SMS alerts, exists but remains underdeveloped. The Technical Group for Studies and Applications in Meteorology (GTEAM) has engaged in research and extension projects to support societal decision-making. This study evaluates the effectiveness of Numerical Weather Prediction (NWP) products and disseminates meteorological alerts via the GTEAM website and social media. Results from March 30, 2023, during a severe storm in Rio de Janeiro, revealed that the NWP model showed strong accuracy and qualitative success in predicting rainfall. These findings highlight the potential of NWP to improve disaster preparedness and response.

Keywords: Numerical Weather Prediction. Storms. Natural Disasters.

EVALUACIÓN DE LA PREVISIÓN NUMÉRICA DEL TIEMPO DESARROLLADA POR GTEAM

RESUMEN

Las observaciones meteorológicas han demostrado que los fenómenos meteorológicos extremos están ocurriendo con mayor frecuencia, principalmente debido a los desequilibrios observados en las variabilidades climáticas naturales, que se agravan debido a las acciones humanas, lo que resulta en un aumento de los desastres naturales. Los casos de tormentas asociadas con lluvias muy intensas, vientos fuertes y deslizamientos de tierra, como los ocurridos en Petrópolis, RJ en febrero de 2022 y en São Sebastião, SP en febrero de 2023, son ejemplos del aumento en la ocurrencia de fenómenos extremos que causan impactos irreparables en ciudades que crecen de manera desordenadas y carecen de resiliencia. En la ciudad de Río de Janeiro, se ha desarrollado un sistema de alerta de tiempo severo para mitigar los impactos causados por los fenómenos extremos, especialmente aquellos que resultan en muertes por soterramiento. Este sistema incluye una red de pluviómetros, sirenas instaladas en áreas de laderas y alertas por mensajes de texto del tipo Short Message Service (SMS), pero todavía se encuentra en sus primeras etapas. Nosotros, en el Grupo Técnico de Estudios y Aplicaciones en Meteorología (GTEAM), hemos estado desarrollando proyectos de extensión e investigación en el ámbito escolar que consideramos de interés para la sociedad y que pueden ayudar a cada individuo en la toma de decisiones. Nuestro objetivo principal es hacer públicos los prototipos y, principalmente, los productos de la Previsión Numérica del Tiempo (PNT), junto con evaluaciones de su eficacia, además de difundir alertas meteorológicas a través de nuestro portal en línea (<http://gteam.cefet-rj.br>) y en las redes sociales. Los resultados de nuestra modelación numérica para el 30 de marzo de 2023, el día en que ocurrió una fuerte tormenta en la ciudad de Río de Janeiro, indican que los valores de las variables calculadas por el modelo que hemos adoptado muestran una buena precisión y exactitud en comparación con los

valores observados en estaciones meteorológicas automáticas. La calidad de la predicción de lluvia también fue buena.

Palabras clave: Previsión Numérica del Tiempo. Tormentas. Desastres naturales.

INTRODUÇÃO

Algumas milhares de mortes em todo o mundo nas últimas décadas são consequências dos desastres naturais (The United Nations; The World Bank, 2010). As enchurradas e os deslizamentos de terra são os principais fatores que caracterizam a maior parte dos desastres naturais que afetam a população mundial. Em janeiro de 2011, as chuvas intensas e contínuas que atingiram a Região Serrana do estado do Rio Janeiro, resultaram em um dos maiores desastres naturais do Brasil, que provocou mais de 900 mortes (Banco Mundial, 2012; Dourado; Arraes; Silva, 2012). Em fevereiro de 2022, as chuvas provocaram uma série de deslizamentos de terra em localidades distintas da cidade de Petrópolis – RJ, que resultou em mais de 200 mortes. E mais de 60 pessoas morreram na cidade de São Sebastião – SP em fevereiro de 2023, decorrência dos cerca de 700 mm de chuva acumulada em 24 horas. Os fenômenos meteorológicos extremos estão cada vez mais frequentes, principalmente devido aos desequilíbrios observados nas variabilidades climáticas naturais agravados pelas ações antropogênicas, associadas as mudanças de uso do solo, queimadas, degradação ambiental, processo desenfreado de urbanização, dentre outros.

A prefeitura do Rio de Janeiro, por intermédio de sua Defesa Civil e a Fundação Instituto de Geotécnica do município do Rio de Janeiro (GEO-RIO), desenvolveu um sistema de alerta comunitário, baseado na instalação de sirenes, que avisa a população sobre riscos de deslizamentos em casos de chuvas intensas, que tem como objetivo preservar vidas, mitigando os impactos causados pelos desastres naturais. Além disso, a GEO-RIO monitora as chuvas através de uma rede pluviométrica e a Defesa Civil emite avisos por mensagens de texto do tipo *Short Message Service* (SMS), quando entende que chuvas e ventos fortes podem impactar drasticamente a cidade e os seus arredores, mas com certa incipiência. Nesse sentido, nós do Grupo Técnico de Estudos e Aplicações em Meteorologia (GTEAM) temos desenvolvido alguns projetos de extensão e pesquisa (Costa *et al.*, 2012; Paiva *et al.*, 2017; Teodoro *et al.*, 2017; Julio; Paiva, 2020; Souza *et al.*, 2021), no âmbito do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ), que entendemos ser de interesse para sociedade e que podem ajudar cada indivíduo na sua tomada de decisão. Assim, nós do GTEAM temos como principal objetivo tornar público os protótipos e, principalmente, os produtos da Previsão Numérica do Tempo (PNT) desenvolvidos por nós por meio dos modelos numéricos, associados as avaliações da sua acurácia e precisão, e emitir avisos meteorológicos por meio do nosso portal na internet (<http://gteam.cefet-rj.br/>) e pelas redes sociais (<https://www.instagram.com/gteam.meteoro>; <https://www.facebook.com/gteam.meteoro>; https://twitter.com/meteoro_gteam?s=09). Dessa forma, além dos desenvolvimentos acadêmicos, pretendemos nos tornar operacional e atuante em prol da sociedade, interagindo com comunidades locais e expandindo horizontes através desses canais.

METODOLOGIA E DADOS

O portal interdisciplinar do GTEAM foi desenvolvido em HTML e CSS, de forma simples e responsiva, através dos aplicativos Sublime Text 3 e Notepad++. Futuramente desenvolveremos um banco de dados em MySQL para atender as necessidades do projeto SACADA (Paiva *et al.*, 2017; Teodoro *et al.*, 2017). Por outro lado, nossa Previsão Numérica de Tempo (PNT), baseada nos modelos numéricos *Regional Atmospheric Modeling System* – RAMS (Walko; Tremback; Hertenstein, 1995) e *Advanced Regional Prediction System* – ARPS (Xue *et al.*, 2001), e todo o processo de avaliação da mesma, foram desenvolvidos através de Shell Scripts e Python. Ambos os modelos possuem um conjunto de equações não-hidrostáticas, escritas sob o paradigma de média de Reynolds (*Reynolds-averaged Navier–Stokes* - RANS), capaz de descrever o escoamento atmosférico tridimensional, sensível a esfericidade e a heterogeneidade da Terra e em regime transiente. Em ambos os modelos é adotado a projeção de Mercator e um sistema de coordenadas vertical telescópico, que permite assumir uma grade numérica mais resolvida próximo a superfície, já que os grandes vórtices na Camada Limite Atmosférica (CLA) são apenas parametrizados. A base de dados de superfície, que inclui o tipo de solo, o tipo de vegetação e a topografia, assim como as principais parametrizações adotadas no RAMS e no ARPS, podem ser consultadas em Paiva, Bodstein e Menezes (2009) e Paiva, Bodstein e Pimentel (2014). Em cada modelo nós configuramos apenas uma grade com resolução horizontal de 27 km, que contém um domínio entre os meridianos 29°39'W e 82°52'W e paralelos 11°10'N e 39°50'S, centrado na longitude 56°15'W e na latitude 16°15'S, onde assimilamos os dados de análise e previsões do *Global Forecasting System* – GFS (Kanamitsu, 1989) em intervalos de 3 horas e com resolução de 0,5 grau, usado como condições iniciais e condições de contorno para ambos RAMS e ARPS. Vale ressaltar que nossas simulações produzem previsões horárias para três dias consecutivos, mas o ARPS ainda está em fase de testes preliminares.

Para verificar a habilidade dos modelos em prever adequadamente as variações de temperatura, umidade, pressão atmosférica, dentro outros, realizamos análises baseada na comparação dos dados computados numericamente com os observados e registrados por algumas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através do cálculo de índices estatísticos (Willmott, 1981; Willmott, 1982; Willmott; Matusuura, 2005). Além da média da amostra de uma variável, o desvio-padrão e a variância, a partir dos erros individuais, o qual é definido por $E_i = P_i - O_i$ (Willmott; Matusuura, 2005), onde “ P_i ” ($i = 1, 2, \dots, n$) são as previsões e “ O_i ” são as observações obtidas de estações meteorológicas automáticas do INMET, nós calculamos o erro absoluto médio (*Mean Absolute Error* - MAE), que retorna o erro total dividido pelo número de amostras N , como se segue

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E_i|, \quad (1)$$

o erro sistemático médio (*Mean Bias Error* - bias) conforme a seguinte expressão,

$$bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i, \quad (2)$$

o erro quadrático médio (*Mean Squared Error* – MSE) dado por,

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i)^2, \quad (3)$$

e a raiz do erro quadrático médio (*Root Mean Squared Error* - RMSE), tal como

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i)^2}. \quad (4)$$

Devido aos erros maiores de 180 graus na direção do vento, realizamos uma correção no erro individual (Paiva; Ferreira; Justino, 2016) como se segue

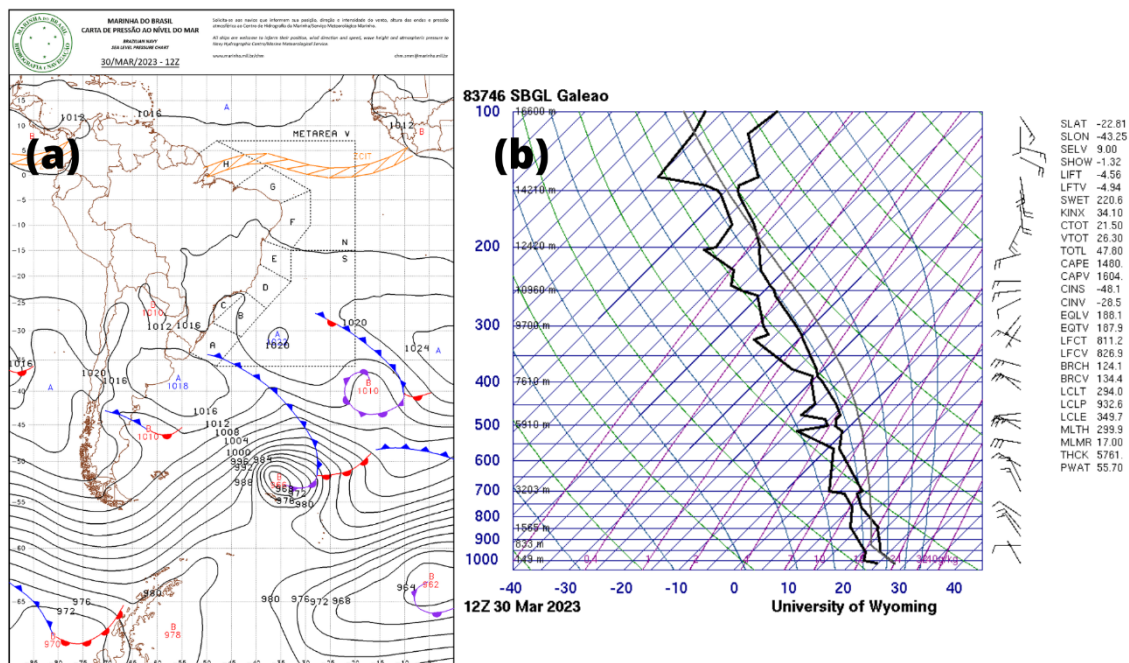
$$E_i = (P_i - O_i) \left(1 - \frac{360}{|P_i - O_i|}\right), \text{ se } |P_i - O_i| > 180 \text{ graus}. \quad (5)$$

Adicionalmente calculamos o coeficiente de correlação C (Hanna, 1994), que reflete a extensão de uma relação linear entre os valores das variáveis obtidas da PNT e da observação e, computamos o índice de concordância d (Willmott, 1981), que indica o grau que os dados obtidos da modelagem estão livres de erros. Particularmente, o índice adimensional d opera na faixa entre o valor zero, para nenhuma concordância e 1 para uma perfeita concordância.

RESULTADOS

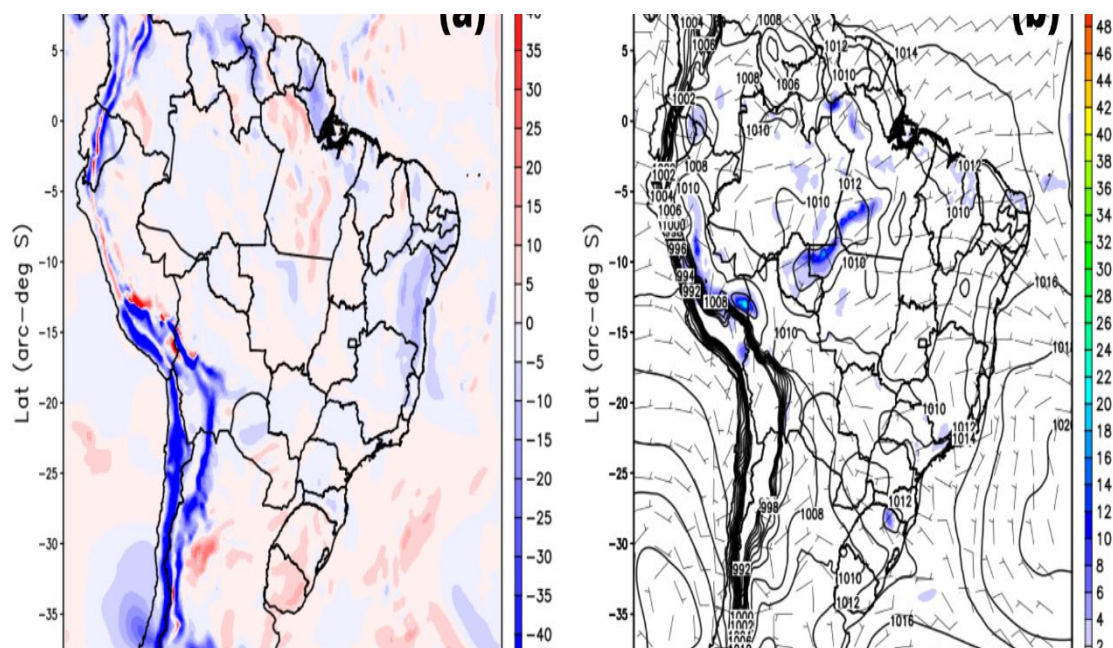
Vamos restringir nossas análises para o dia 30 de março de 2023, quando um forte temporal, iniciado por volta das 19 horas local e 30 minutos, causou inúmeros alagamentos, quedas de energia e interrupções nos meios de transporte, principalmente na zona norte da cidade do Rio de Janeiro. A análise sinótica e a previsão do tempo indicavam a passagem de uma frente fria pela região sul do Brasil, que associada a uma advecção horizontal de ar frio adiante do sistema culminou numa depressão atmosférica e formação de um cavado próximo a linha de costa da região sudeste (Figs. 1a-b e 2a-b). Vorticidade ciclônica e convergência de massa contribuíram para aumentar as áreas de instabilidade e intensificar as células convectivas em mesoescala sobre o estado do Rio de Janeiro. A sondagem das 12Z (hora Zulu ou *Greenwich Mean Time* - GMT) realizada na estação do Galeão (9h local), indicava uma atmosfera quente e profundamente úmida, com CAPE de 1480 J (Fig 1b). Uma quantidade significativa de núcleos de tempestades associados a uma Linha de Instabilidade (LI), conforme ilustrado na imagem do radar das 19h e 40min local (Fig. 3), ocasionou um acumulado de chuva, no intervalo de apenas 1 hora, de 81,8 mm na estação meteorológica Tijuca-Muda, 70,2 mm na Grande Meier, 62,6 mm na Piedade, 52,2 mm na Tijuca, 47,6 mm na Irajá, 42 mm na Madureira, 41,6 na São Cristóvão, e 37,2 na estação Penha, todas da GEO-RIO (<http://www.sistema-alerta-rio.com.br/dados-meteorologicos/download/dados-pluviometricos/>). Vale ressaltar que o Centro de Operações da Prefeitura do Rio (COR) entrou em estágio de atenção apenas às 19h 45min, devido aos registros de chuva acima de 25 mm identificados na região do Grande Méier. O RAMS-GTEAM sinalizou qualitativamente a ocorrência da chuva por volta de 17:00 h local (Fig. 4), demonstrando habilidade em descrever fatores das mais diversas escalas atmosféricas. No entanto, mesmo atualmente, com todo o aparato computacional, ainda é um grande desafio para modelagem determinística efetuar previsões quantitativas assertivas da precipitação de água líquida.

Figura 1. (a) Carta sinótica elaborada pela Marinha do Brasil e **(b)** sondagem atmosférica realizada na estação SBGL-Galeão pela Força Aérea Brasileira (FAB) e plotada pela Universidade do Wyoming, ambas para 12Z (9h local) do dia 30 de março de 2023



Fonte: (a) Marinha do Brasil, 2023; (b) Universidade do Wyoming, 2023.

Figura 2. Campos previstos pelo RAMS-GTEAM de (a) advecção de temperatura em 850 hPa, (b) chuva acumulada em 3 h, pressão ao nível médio do mar e direção do vento, às 19Z (16h local) do dia 30 de março de 2023



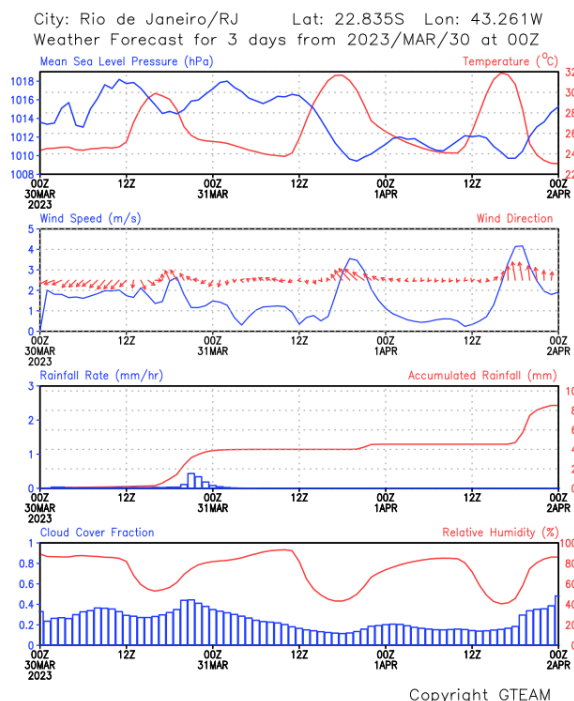
Fonte: Autores, 2023.

Figura 3. Imagem do radar da GEO-RIO às 22:40Z (19h e 40min local) do dia 30 de março de 2023



Fonte: GEO-RIO, 2023.

Figura 4. Meteograma previsto pelo RAMS-GTEAM, iniciando às 00Z do dia 30 de março e terminando às 00Z do dia 2 de abril de 2023



Fonte: Autores, 2023.

A Tabela 1 ilustra os valores dos índices estatísticos médias globais calculados para comparação dos resultados previstos pela modelagem com os observados nas estações meteorológicas de A603-Duque de Caxias – Xerem-RJ (43,28°W, 22,59°S), A601-Seropédica - Ecologia Agrícola-RJ (43,68°W, 22,76°S), e A621-Rio de Janeiro - Vila Militar-RJ (43,41°W, 22,86°S), A636-Rio de Janeiro – Jacarepaguá-RJ (43,40°W, 22,94°S), todas do INMET. Neste dia de operação o ARPS-GTEAM esteve inoperante e os resultados do RAMS-GTEAM foram obtidos do ponto de grade vizinho mais próximo de cada ponto correspondente das estações meteorológicas do INMET. A discussão dessa metodologia pode ser encontrada na página de INTERNET do *COMET Program* (<https://www.comet.ucar.edu/>). As análises estatísticas são bastante promissoras, pois observamos claramente que, no caso da temperatura, o MAE é menor do que 2 °C e o RAMS-GTEAM tende a subestimar globalmente a temperatura observada nas estações (bias = -1,45 °C). Vale ressaltar que em Jacarepaguá o RAMS foi bastante assertivo, o MAE foi de 1,5 °C e o RMSE de apenas 1,8 °C. O erro percentual da umidade é menor do que 10% e o RAMS apresenta a tendência de subestimar também a quantidade de água na atmosfera (bias = -3%), apesar que em Seropédica ele superestimou, com bias alcançando 3,8%. De qualquer forma, isso mostra a forte interrelação entre as variáveis temperatura e umidade relativa do ar. Apesar de um MSE de 77,73%, a umidade relativa apresentou um RMSE global de apenas 8,58%, indicando que o RAMS controla bem os aspectos e fatores termodinâmicos, não deixando os erros crescerem indevidamente. Mas vale ressaltar que

o MSE é bastante sensível aos valores discrepantes por conta do expoente ao quadrado, o que justifica os valores mais altos encontrados nesta métrica.

Por outro lado, o RAMS tende a superestimar globalmente a pressão atmosférica, com valores chegando aproximadamente a 4,28 hPa além do observado. Os valores de MSE igual a 21,1 hPa e RMSE igual a 4,55 hPa para pressão atmosférica, associado as análises dos campos de pressão atmosférica indicam que o comportamento da modelagem é numericamente estável, e que a princípio não há perda de massa na solução. Os erros observados com esta ordem de grandeza são aceitáveis, já que valores semelhantes foram computados por [Paiva, Bodstein e Pimentel \(2014\)](#) em suas simulações numéricas.

A velocidade do vento é muito bem prevista, apresentando globalmente MAE igual a 0,95 m/s, *bias* 0,18 m/s, MSE de 1,30 m²/s² e RMSE de 1,15 m/s. Do contrário, a direção do vento apresenta as maiores discrepâncias, com MAE atingindo 89 graus e RMSE de aproximadamente 100 graus, apesar de uma concordância acima de 0,8. De fato, modelar a direção do vento na Terra Incógnita ([Wynngaard, 2004](#)) é ainda um desafio para os modelos, entretanto, devemos enfatizar que os dados são observados à 10 metros de altura acima do solo, e podem sofrer grande influência dos efeitos devido a cobertura vegetal, que não são totalmente representados nos modelos de mesoescala, devido as deficiências nos esquemas de parametrização da turbulência, refinamento de grade numérica, baixa resolução na bases de dados do tipo de solo e topografia, dentre outros. Finalmente, no caso da chuva, percebemos que o modelo RAMS tende a gerar alguns valores espúrios. Mas quando a chuva é significativa, o RAMS indica qualitativamente bem o horário da ocorrência do evento, mas subestima em muito a água precipitável. Isso nos leva a pensar na estratégia de aferir os valores para nossa realidade, através de métodos estocásticos ou até mesmo por inteligência artificial. A correlação apesar de calculada não foi explorada aqui na discussão, pois a amostragem ainda está limitada. Mas de qualquer forma a correlação ficou acima de 0,5 para todas as variáveis, e a concordância acima de 0,6.

Tabela 1. Índices estatísticos globais calculados para temperatura absoluta do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento

Índices Variáveis	MAE	bias	MSE	RMSE
Temperatura (°C)	1,95	-1,45	6,90	2,53
Umidade (%)	7,15	-3,00	77,73	8,58
Pressão (hPa)	4,28	4,28	21,10	4,55
Velocidade	0,95	0,18	1,30	1,15
Direção	89,05	24,68	10799,38	100,18

Fonte: Autores, 2023.

CONCLUSÕES

As análises do caso estudado indicam que estamos desenvolvendo uma modelagem numérica adequada, capaz de predizermos os sistemas sinóticos e de mesoescalas com confiabilidade. Apesar das discrepâncias quantitativas, principalmente relacionadas à chuva, os resultados da modelagem indicaram a formação da tempestade convectiva, uma vez que observamos que a advecção horizontal de ar frio à frente do sistema frontal causou uma depressão atmosférica, gerando um cavado próximo a linha de costa da região sudeste e os núcleos convectivos que estavam embebidos na linha de instabilidade que

atingiu a cidade do RJ. Através dos campos de vorticidade e convergência de massa observamos a formação das áreas de instabilidade. De acordo com as análises estatísticas o RAMS-GTEAM tende a subestimar globalmente a temperatura e a umidade relativa do ar, mas com poucas discrepâncias. A velocidade do vento é muito bem prevista, apresentando globalmente MAE igual a 0,95 m/s e RMSE de 1,15 m/s. Mas a direção do vento continua sendo um desafio para modelagem, já que os modelos ainda apresentam deficiências nos esquemas de parametrização da turbulência. Finalmente, no caso da chuva, percebemos que o modelo RAMS tende a gerar alguns valores espúrios. Mas quando a chuva é significativa, o RAMS indica qualitativamente bem o horário da ocorrência do evento, mas subestima em muito a água precipitável. Estamos pensando em aferir os valores da chuva através de métodos estocásticos ou, quem sabe, por inteligência artificial. Mas também precisamos colocar o ARPS-GTEAM em operação para realizar intercomparação entre modelos. Esperamos que os produtos, protótipos e projetos desenvolvidos por nós do GTEAM, que envolvem indiscriminadamente ensino, pesquisa e extensão no ambiente escolar, integre a “academia” à sociedade como um todo. Temos a expectativa de impactar os estudantes de forma bastante positiva, esperando que eles adquiram habilidades práticas para o mercado de trabalho não apenas na área de Meteorologia, mais também em computação, estatística, dentre outros.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Extensão e Assuntos Comunitários da Diretoria de Extensão (DEAC/DIREX/CEFET-RJ) pela concessão das bolsas atreladas aos Editais nº 001/2022/DIREX e 003/2023/DIREX.

SUBMETIDO EM: 18/09/2023

ACEITO EM: 01/12/2023

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos:** inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: Banco Mundial, 2012. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/cooperacao-internacional/ativacoes-no-brasil/chamados/imagens/inundacoes-e-deslizamentos-na-regiao-serrana-do-rio-de-janeiro.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2023.

COSTA, Izabella Oliveira da et al. Avaliação da previsão numérica operacional do RAMS/CEFET-RJ para região do Parque Nacional de Itatiaia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 17., 2012, Gramado. **Anais** [...]. Gramado: SBMET, 2012.

DOURADO, Francisco; ARRAES, Thiago Coutinho; SILVA, Mariana Fernandes e. O megadesastre da região serrana do Rio de Janeiro: as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no

pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, [Rio de Janeiro], v. 35, n. 2, p. 43-54, 2012.

HANNA, Steven R. Mesoscale meteorological model evaluation techniques with emphasis on needs of air quality models. *In*: PIELKE, Roger A.; PEARCE, Robert P. (ed.), **Mesoscale modelling of the atmosphere**. Boston: American Meteorology Society, 1994. p. 47-62.

JULIO, Raquel Lopes; PAIVA, Leanderson Marcos da Silva. Assessment of eddy-covariance measurements of CO₂ concentration and flux inside an urban canopy layer that develops in CEFET-RJ garden. *In*: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 11., 2019, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: Even3, 2020.

KANAMITSU, Masao. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. **Weather and Forecasting**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 335-342, Sept. 1989.

PAIVA, L. M. S. et al. Desenvolvimento de uma estação meteorológica automática e didática de baixo custo. **Intercâmbio**, Montes Claros, v. 8, p. 193-204, 2017.

PAIVA, L. M. S.; BODSTEIN, G. C. R.; PIMENTEL, L. C. G. Influence of high-resolution surface databases on the modeling of local atmospheric circulation systems. **Geoscientific Model Development**, [s.l.], v. 7, p. 1641-1659, 2014.

PAIVA, L. M. S.; FERREIRA, A. V.; JUSTINO, F. B. Impact of sea-breeze flow in the turbulent fluxes over restinga vegetation in Rio de Janeiro. *In*: ABCM SPRING SCHOOL ON TRANSITION AND TURBULENCE, 10., 2016, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: ABCM, 2016.

PAIVA, Leanderson M.S.; BODSTEIN, Gustavo C.R.; MENEZES, Wallace F. Numerical simulation of atmospheric boundary layer flow over isolated and vegetated hills using RAMS. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, [s.l.], v. 97, n. 9/10, p. 439-454, 2009.

SOUZA, G. M. S. et al. O clima entre nós. *In*: SEMANA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (SEPEX) do CEFET/RJ, 2021, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: CEFET/RJ, 2021.

TEODORO, Diogo Carvalho da Silva; SANTOS, Gustavo Marques da Rocha dos; SOUZA, Miguel Vianna de; GROppo, Raphael Oliveira. Sistema automático didático de coleta, transmissão e armazenamento de dados ambientais - SACADA. *In*: PRÊMIO CREA-RJ DE TRABALHOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 6., 2017, Rio de Janeiro. **E-book de trabalhos premiados**. Rio de Janeiro: CREA/RJ, 2017. p. 121-122.

THE UNITED NATIONS; THE WORLD BANK. **Natural hazards, unnatural disasters**: the economics of effective prevention. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development, 2010. Disponível em: <https://www.perlego.com/book/1483949/natural->

[hazards-unnatural-disasters-the-economics-of-effective-prevention-pdf](#). Acesso em: 28 mar. 2023.

WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J.; HERTENSTEIN, R. F. A. **RAMS**: The Regional Atmospheric Modeling System: user's guide, version 3b, ASTER Division, Mission Research, Inc., Rep., 1995, 117 p. Disponível em: http://www.atmet.com/html/docs/rams/user_3b.ps. Acesso em: 27 abr. 2023.

WILLMOTT, Cort J. On the validation of models. **Physical Geography**, [s.l.], v. 2, p. 184-194, 1981.

WILLMOTT, Cort J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [s.l.], v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.

WILLMOTT, Cort J.; MATSUURA, Kenji. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, [s.l.], v. 30, p. 79-82, 2005.

WYNGAARD, John C. Toward numerical modeling in the "Terra Incognita". **Journal of the Atmospheric Sciences**, [s.l.], v. 61, n. 14, p. 1816-1826, 2004.

XUE, M. et al. The Advanced Regional Prediction System (ARPS): a multi-scale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction model. Part II: Model physics and applications. **Meteorology and Atmospheric Physics**, [s.l.], v. 76, p. 143-165, 2001.