



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 6, nº 2 (2020)

<https://doi.org/21.680/2447-3359.2020v6n2ID22864>



PREVISÃO DE NEVOEIRO PARA O AEROPORTO DE MACEIÓ USANDO O MODELO BRAMS

João Pedro Gonçalves Nobre¹; Helber Barros Gomes²; Natalia Fedorova³; Maria Cristina Lemos da Silva⁴; David Duarte Cavalcante Pinto⁵; Matheus José Arruda Lyra⁶

¹Mestrando em Meteorologia, Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Cachoeira Paulista/SP, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6885-6030>

Email: pedronobrejp@gmail.com

²Doutor em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió/AL, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9972-9990>

Email: helber.gomes@icat.ufal.br

³Doutora em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió/AL, Brasil.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4154-6830>

Email: natalia@icat.ufal.br

⁴Doutora em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió/AL, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4854-4432>

Email: cristina.lemos@icat.ufal.br

⁵Mestre em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió/AL, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7032-6354>

Email: david.duarte@icat.ufal.br

⁶Doutorando em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande/PB, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0890-762X>

Email: matheuslyraa@gmail.com

Resumo

Nos aeroportos, eventos de nevoeiro podem causar prejuízos socioeconômicos durante o pouso ou decolagem. Para o

Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares foi criada uma ferramenta para a previsão de visibilidade baixa pelo laboratório de Meteorologia Sinótica e Física da Universidade Federal de Alagoas, o Fog VISibility Version 1 (FogVISv1.0). O presente estudo visa, portanto, através dos dados de previsão do modelo de mesoescala Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS) simular a visibilidade horizontal através do conteúdo de água líquida (LWC) e da concentração do número de gotas (Nd) para seis episódios de nevoeiro ocorridos no Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares entre 2008 a 2014, com duração igual ou superior a 1 hora, com o objetivo de analisar a capacidade da ferramenta FogVISv1.0, tendo como condições iniciais dados do modelo BRAMS, em detectar visibilidade baixa associada a eventos de nevoeiro. Resultados obtidos no presente trabalho ilustram que a ferramenta conseguiu detectar visibilidade baixa em 83% dos eventos de nevoeiro registrados pela estação de superfície do aeroporto, o que totaliza cinco dos seis casos avaliados.

Palavras-chave: Visibilidade baixa; Parametrização; Microfísica do nevoeiro.

FOG FORECAST FOR THE MACEIÓ AIRPORT USING THE BRAMS MODEL

Abstract

At airports, fog events can cause socio-economic damage during landing or takeoff. For the Zumbi dos Palmares International Airport, a tool was created to forecast low visibility by the Laboratory of Synoptic and Physical Meteorology at the Federal University of Alagoas, the Fog Visibility Version 1 (FogVISv1.0). The present study aims, therefore, through the forecasting data of the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS) mesoscale model, to simulate the horizontal visibility through the liquid water content (LWC) and the concentration of the number of drops (Nd) for six fog episodes. It occurred at Zumbi dos Palmares International Airport between 2008 and 2014, lasting 1 hour or more, to analyze the capacity of the FogVISv1.0 tool with BRAMS model initial conditions, in detecting low visibility associated with fog events. The results show that 83% of the fog events recorded by the airport's surface station were forecasted, which totals five of the six cases evaluated.

Keywords: Low visibility; Parametrization; Fog microphysics.

PREDICCIÓN DE NIEBLA PARA EL AEROPUERTO DE MACEIÓ USANDO EL MODELO BRAMS

Resumen

En los aeropuertos, los eventos de niebla pueden causar daños socio-económicos durante el aterrizaje o el despegue. Para el Aeropuerto Internacional de Zumbi dos Palmares, el Laboratorio de Meteorología Sinóptica y Física de la Universidad Federal de Alagoas creó una herramienta para predecir la baja visibilidad, llamada Fog VISibility Versión 1 (FogVISv1.0). El presente estudio tiene como objetivo, por lo tanto, a través de los datos de pronóstico del modelo Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS), simular la visibilidad horizontal usando las variables contenido de agua líquida (LWC) y la concentración del número de gotas (Nd) en seis episodios de niebla ocurridos en el Aeropuerto Internacional Zumbi dos Palmares entre 2008 y 2014, con duración igual o superior a 1 hora, con el objetivo de analizar la capacidad de la herramienta FogVISv1.0, teniendo como condiciones iniciales datos del modelo BRAMS, en la detección de baja visibilidad asociada con eventos de niebla. Resultados obtenidos en el presente trabajo ilustran que la herramienta fue capaz de detectar baja visibilidad en 83% de los eventos de niebla reportados por la estación de superficie del aeropuerto, lo que suma cinco de los seis casos evaluados.

Palabras-clave: Baja visibilidad; Parametrización; Microfísica de la niebla.

1. INTRODUÇÃO

Tubelis e Nascimento (1983) consideram o nevoeiro como gotículas de água (sólida ou líquida) em suspensão na camada próxima à superfície terrestre com capacidade de reduzir a visibilidade a partir de 1000 m. Em relação a sua microestrutura, Hess, Koepke e Schultz (1998) consideram que para um nevoeiro, a densidade total partículas é de 15 cm^{-3} e aproximadamente $0,06 \text{ g.m}^{-3}$, porém esses valores podem variar de acordo com a região de estudo.

Em relação a intensidade do nevoeiro, Pettersen (1940), considera os nevoeiros em densos (quando a visibilidade horizontal é menor que 50 m), espessos (com visibilidade reduzida entre 50 e 200 m), médio (visibilidade horizontal entre 200 e 500 m) e nevoeiro de intensidade moderada (cuja visibilidade está entre 500 e 1000 m).

O estudo dos processos de formação do nevoeiro bem como o desenvolvimento de modelos numéricos para simular a visibilidade baixa associada a ele tem sido realizado em diversas partes do globo, a fim de evitar, por exemplo, acidentes em aeroportos que possam causar prejuízos socioeconômicos, como aconteceu em 2007 no Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares (FEDOROVA *et al.*, 2013, FEDOROVA *et al.*, 2015, FEDOROVA e LEVIT, 2016).

Para o Hemisfério Norte (HN) inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos para entender os processos de formação do nevoeiro. Willett (1930) realizou um estudo detalhado para melhor entender o processo de formação dos nevoeiros que afetaram o Aeroporto de Hadley no inverno de 1928 e 1929, classificando-os em nevoeiros de radiação, pré-frontal, marítimo

e pós-frontal. Epperley (1933) conduziu um estudo para entender o processo de formação e dissipação de eventos de nevoeiro na cidade de Oklahoma e observou que para esta localidade os nevoeiros normalmente se formam entre as 2 e as 7 h da manhã no horário local, sobre condições de céu nublado e umidade relativa alta por longos intervalos de tempo, em outros casos quando registrado chuva, a formação do nevoeiro foi registrado durante a tarde e à noite. Fish (1936) estudou a influência do lago Ponchartrain na formação de nevoeiro no Aeroporto de Shushan e observou que as águas superficiais do lago respondem muito mais rapidamente ao resfriamento que ao aquecimento promovido pela advecção de massas de ar quente do Golfo do México, que com a chegada do inverno e de uma onda de frio extremamente severa favorecem o contraste de temperatura entre uma massa de ar úmida e quente que ao avançar do interior do Golfo de México sobre a superfície do Lago Ponchartrain origina os nevoeiros do Aeroporto de Shushan. Pelie *et al.* (1979) avaliou o desenvolvimento do nevoeiro associados a nuvens *Stratus* (St) na costa da Califórnia e notou que este fenômeno ocorre como resultado do resfriamento adiabático sempre que a base da inversão encontra-se acima do nível de condensação por levantamento. Huang *et al.* (2018), descreve as características sinóticas do nevoeiro do Mar Amarelo e considera que a formação deste fenômeno ocorre devido à Alta do Mar Amarelo acoplada com uma região de divergência sobre a área do nevoeiro.

No Hemisfério Sul, Kimura (2005) descreveu a origem do nevoeiro no deserto da Namíbia. Este tipo de nevoeiro tem sido descrito normalmente como nevoeiro de advecção e associado com a corrente fria de Benguela, porém ele notou que verdadeiramente este nevoeiro inicia-se não do movimento para oeste da corrente de Benguela, mas sim do movimento de leste para o interior do Oceano Atlântico. No Brasil, Fedorova *et al.* (2008) observou que o processo de formação de nevoeiro para o sul e Nordeste do Brasil (NEB) ocorrem de formas distintas, com camadas de inversão térmica e ventos ascendentes moderados próximas a superfície para a região Sul e sem camadas de inversão térmica e ventos ascendentes moderados próximo a superfície para o NEB. Gomes e Fedorova (2011) estudaram eventos raros de nuvens *Stratus* sobre a costa do nordeste e descobriram a existência de nevoeiros e nuvens *Stratus* associados a Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL). Fedorova *et al.* (2013) relata que nevoeiros intensos próximos ao Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares estavam associados com DOL e circulação anticiclônica em médios níveis (500 hPa). Fedorova *et al.* (2015) também analisou os dados de diferentes modelos numéricos e concluiu que o fluxo de calor sensível negativo e a condensação do vapor d'água resultam na formação de nevoeiro no Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares.

Para as latitudes médias, onde os processos dinâmicos são melhor compreendidos, existem modelos especializados em prever a visibilidade baixa associada a eventos de nevoeiro, tais como o modelo Parameterized FOG (PAFOG) (BOTT e TRAUTMANN, 2002) e Code de Brouillard à l'Échelle Locale (COBEL) (BERGOT *et al.*, 2005). Contudo, para a região tropical, apenas um modelo paramétrico foi desenvolvido, o *Fog Visibility Version 1* (FogVISv1.0) por Nobre *et al.* (2019).

O modelo PAFOG é um modelo paramétrico unidimensional, contendo 4 módulos com informações de diferentes variáveis meteorológicas e tem sido usado para estudar os eventos de

nevoeiro nos aeroportos da Alemanha. Seus módulos são: 1) módulo dinâmico: com dados geográficos (latitude, longitude e altitude da estação meteorológica); solo (tipo de solo); vegetação (cobertura e altura); dados meteorológicos (temperatura do ar e ponto de orvalho, umidade relativa do ar a 2 m acima do solo, visibilidade e pressão). 2) Módulo de microfísica das nuvens: nebulosidade em baixos, médios e altos níveis. 3) Módulo de cálculo de radiação: dados de radiossondagem (pressão, temperatura do ar e ponto de orvalho, velocidade do vento geostrofico e níveis de pressão). 4) Módulo de vegetação baixa: temperatura do solo e umidade relativa em diferentes profundidades.

O modelo COBEL em seu conjunto completo consiste de várias equações que simulam vários processos físicos (TARDIF e ZWACK, 1998). Inicialmente foi proposto para avaliar a camada limite, suas equações simulam parametrizações de mistura turbulenta baseadas na Energia Cinética Turbulenta (ECT) e comprimento da camada de mistura, a parametrização de mistura turbulenta é especialmente adaptada para a estratificação muito estável através do uso de uma formulação de comprimento da camada de mistura para altos valores do número de Richardson (ESTOURNEL e GUDALIA, 1987), parametrização da sedimentação das gotículas da neblina (KESSLER, 1995), parametrização da física da precipitação para o chuvisco, modelo de solo baseado na equação de difusão para a temperatura do solo e incorpora o modelo de Mahrt e Pan (1984) para a umidade do solo. A radiação solar é calculada usando o esquema de Fouquart e Bonnel (1980).

A ferramenta FogVisv1.0 (*Fog Visibility Version 1*) foi desenvolvida pelo laboratório de Meteorologia Sinótica e física da Universidade Federal de Alagoas e comparada com o modelo PAFOG, utilizando as condições iniciais de uma previsão de curto prazo do modelo WRF (Weather Research and Forecasting). Nobre *et al.* (2019) aponta que o FogVIS v1.0 trouxe resultados consistentes com os observados pela estação de superfície do aeroporto de Maceió. Com o modelo BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*), ainda não foi testado um modelo paramétrico de previsão de nevoeiro para a região tropical do Brasil, tendo como resultado a visibilidade horizontal (m). Nessa perspectiva, o presente trabalho visa através da ferramenta desenvolvida por Nobre *et al.* (2019) detectar eventos de nevoeiro nas proximidades do aeroporto de Maceió utilizando previsões de curto prazo do modelo BRAMS para episódios com duração igual ou superior a 1 hora, por fim os resultados obtidos serão comparados com os dados observacionais no intuito de verificar o desempenho do FogVISv1.0, inicializado com dados do modelo BRAMS, na determinação da visibilidade horizontal para o aeroporto de Maceió.

2. METODOLOGIA

O Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares está situado nas coordenadas geográficas de 9.511°S e 35.793°W e 117 m de altura em relação ao nível do mar. Para esta localidade foram coletados dados meteorológicos codificados, METAR (*Meteorological Aerodrome Report*), utilizados para identificar os eventos de nevoeiro e os valores de visibilidade horizontal (m) reportados pela estação de superfície para seis episódios de nevoeiro entre 1996 a 2016. Os eventos foram escolhidos

conforme o intervalo de duração igual ou superior a 1 hora de duração.

O METAR é um informe metrológico regular do aeródromo, que descreve as condições meteorológicas observadas no aeroporto reportado em intervalos regulares de uma hora (DECEA, 2017).

Como condição inicial e de contorno do modelo foram utilizadas a Análise Final do National Centers for Environmental Prediction (NOAA, 2000). Estes dados de análise global são fornecidos em uma grade de 1° x 1° de latitude por longitude e são preparados operacionalmente a cada 6 horas. As análises do FNL são feitas com o mesmo modelo que o NCEP usa no Global Forecast System (GFS), mas são preparados cerca de uma hora depois que o GFS é iniciado, de modo que mais dados observados são utilizados na previsão operacional.

As simulações numéricas foram realizadas através do modelo Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (FREITAS *et al.*, 2017) version 4.2, que é derivado do Regional Atmospheric Modeling System (RAMS, PIELKE *et al.*, 1992; COTTON *et al.*, 2003). A resolução horizontal utilizada nos experimentos foi de 4 km, grade de 308 x 282 pontos e área de integração compreendida entre as latitudes de 11,791°S – 1,531°S e longitude de 40,665°W – 29,361°W. Todas as simulações tiveram 48 níveis na vertical e com topo em 20 km, cuja resolução vertical variou de aproximadamente 40 m próximo a superfície até no máximo 500 m. Como o objetivo deste trabalho é a formação e representação de nevoeiro, em todos os experimentos, a parametrização de convecção foi desligada e a de microfísica ativada (esquema proposto por WALKO *et al.*, 1995), uma vez que ela resolve explicitamente os processos de vapor de água, nuvem e precipitação. Para radiação de onda curta e longa foram utilizados o esquema de Chen e Cotton (1983), modelo LEAF (WALKO *et al.*, 1995) para o solo e topografia derivadas de mapas de 1 km.

A visibilidade para o aeroporto de Maceió foi calculada através do conteúdo de água líquida da atmosfera (*LWC*) e da concentração do número de gotas (N_d), conforme proposto por Gultepe, Müller e Boybeyi (2006). A Equação (1), tem por objetivo detectar a visibilidade horizontal em eventos de nevoeiro através do *LWC* e N_d , que necessitam ser calculados através das Equações 2 e 3 em virtude da ausência de dados instrumentais ou modelos meteorológicos que forneçam essas variáveis como resultado final para diagnóstico.

$$Vis = \frac{1,002}{(LWC \cdot N_d)^{0,6473}} \quad (1)$$

O N_d , Equação 2, foi calculado através da parametrização proposta por Gultepe e Isaac (2004).

$$N_d = -0,071T_c^2 + 2,213T_c + 141,56 \quad (2)$$

Na Equação 2, T_c refere-se a temperatura do ar em superfície dada em graus Celsius.

O *LWC*, Equação 3, foi estimado conforme descrito por Vidot e Hocking (2017). Essa equação foi utilizada para obtenção do *LWC* na unidade requerida, g.m⁻³, para o cálculo da visibilidade através parametrização proposta por Gultepe, Müller e Boybeyi (2006), Equação (1).

$$LWC = q_{liquid} \frac{P \cdot 10^2}{R_{moist} \cdot T_k} \quad (3)$$

Na Equação 3, q_{liquid} é a razão de mistura dada em $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, P é a pressão em hPa, R_{moist} é constante dos gases para o ar úmido e T_k é a temperatura do ar em graus Kelvin.

Para calcular o R_{moist} da Equação 3 foram empregadas as seguintes equações:

$$R_{dry} = \frac{R}{M_{dry}} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{M_{H_2O}}{M_{dry}} \quad (5)$$

$$R_{moist} = R_{dry} \left(1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} q_{H_2O}\right) \quad (6)$$

Na Equação 4, R_{dry} é a constante do gás para o ar seco, R é a constante do gás ideal e M_{dry} é a massa molar para o ar seco. Na Equação 5, ε é o coeficiente entre M_{dry} e a massa molar para o ar saturado (M_{H_2O}). Para calcular R_{moist} , por tanto, é necessário das Equações 4, 5 e 6 e da umidade específica (q_{H_2O}) estimada pela Equação 7, dada em $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (razão entre a massa de vapor d'água e a massa de ar úmido) (Moreira, 1999).

$$q_{H_2O} = \frac{0,622 \cdot e_a}{P_{atm} - 0,378 \cdot e_a} \quad (7)$$

Para calcular a temperatura do bulbo úmido T_w , em °C, foi utilizado o método proposto por Knox, Nevius e Knox (2017), eles utilizam a regra de um terço proposta por Jeff Haby, Equação 8, que calcula a temperatura do bulbo úmido através da média ponderada da temperatura do bulbo seco T e do ponto de orvalho T_d , em °C, essa equação é essencial para obter a pressão de saturação do vapor, empregada no cálculo da Equação 9.

$$T_{w\frac{1}{3}} = T - \frac{1}{3}(T - T_d) = \frac{2}{3}T + \frac{1}{3}T_d \quad (8)$$

A pressão de saturação (máxima) de vapor à temperatura do bulbo úmido (e'_s), em kPa, foi obtido através da temperatura do bulbo úmido em superfície (T_w), em °C, pela Equação 9, utilizada para valores de $T_w \geq 0$ °C (MOREIRA, 1999).

$$e'_s = 0,6108 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot T_w}{237,3 + T_w}\right)} \quad (9)$$

O cálculo da pressão atual do vapor d'água (e_a), em kPa, Equação 10 foi desempenhado através da pressão de saturação (máxima) de vapor à temperatura temperatura do bulbo úmido (T_w), em kPa, da temperatura do bulbo seco ou temperatura do ar T , em °C, da pressão atmosférica (P_{atm}), em kPa, e do coeficiente A , (Moreira, 1999).

$$e_a = e'_s - A \cdot P_{atm} \cdot (T - T_w) \quad (10)$$

O FogVISv1.0 é uma aplicação desenvolvida em C# pelo laboratório de meteorologia sinótica e física da Universidade Federal de Alagoas. A ferramenta contém três módulos: 1)

introdução, onde se explicam as funcionalidades e parametrizações do modelo; 2) georreferenciamento, onde são inseridos os dados das coordenadas geográficas do aeroporto e 3) módulo de execução, onde os dados de entrada do modelo BRAMS, tais como pressão (hPa), velocidade do vento ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), umidade específica ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$), temperatura do ar e do ponto de orvalho (°C) são inseridos para estimar o N_d e visibilidade no aeródromo (Equações 2 e 1, respectivamente), visando detectar eventos de nevoeiro no aeroporto Zumbi dos Palmares (NOBRE *et al.*, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo dados do Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas do ICEA, para o aeroporto de Maceió foram identificados 92 casos de nevoeiro entre 1996 a 2016, uma média de 4,6 eventos de nevoeiro por ano.

Normalmente este fenômeno ocorre durante a estação de inverno austral, entre os meses de junho a agosto, totalizando cerca de 68 % dos eventos registrados. Os outros 32 % restantes referem-se principalmente a pré e pós-estação de inverno, equivalentes respectivamente ao outono, com 27 %, e a primavera, com 3 % dos casos. Os outros 2 %, menor frequência, ocorreram no verão (NOBRE *et al.*, 2019).

Para os episódios de nevoeiro do dia 23 de junho de 2008 (06 UTC), 07 de março de 2012 (03 UTC), 27 de junho de 2014 (01 UTC) e 19 de julho de 2014 (01 UTC), os valores do LWC obtidos pela parametrização, em superfície, para a região do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares variaram entre 0,02 a 0,08 $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. No dia 05 de maio de 2010 (06 UTC) através do FogVISv1.0, foi detectado um evento de nevoeiro para a região vizinha ao aeroporto Zumbi dos Palmares com valores de LWC em superfície aproximadamente equivalente 0,01 $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, conforme ilustrado pela Figura 1.

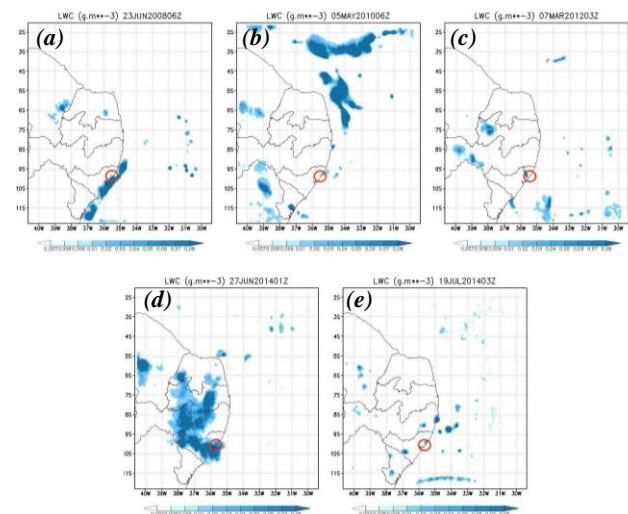


Figura 1 - Mapas ilustrando o conteúdo de água líquida previsto (a-e) próximo a superfície para os dias que foram detectadas visibilidade baixa pelo FogVISv1.0, o círculo em vermelho denota a região do aeroporto. Fonte: Autor (2020).

Para os episódios de nevoeiro do dia 23 de junho de 2008 (06 UTC) e 27 de junho de 2014 (01 UTC), além de valores expressivos de LWC registrados em superfície ilustrado na Figura 1, foram também observados elevados valores de LWC em níveis superiores pelas seções verticais para a região do aeroporto de Maceió, com valores superiores à 0,01 g.m⁻³ (Figura 2).

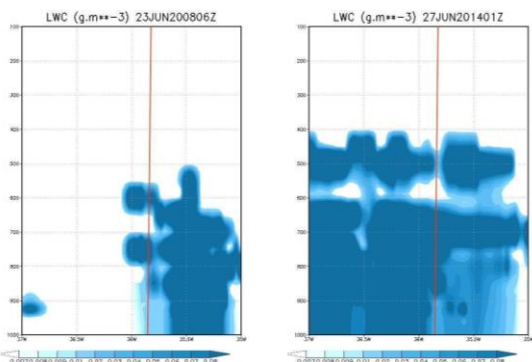


Figura 2 – Seção vertical para a latitude constante de 9.511°S para os dias 23 de junho de 2008 (06 UTC) e 27 de junho de 2014 (01 UTC) do conteúdo de água líquida previsto, linha em vermelho ilustra a longitude do aeroporto. Fonte: Autor (2020).

O evento de nevoeiro do dia 11 de junho de 2010 não foi identificado para a região do aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares e em localidades adjacentes, enquanto que o LWC em superfície registrado pela parametrização sobre a área do aeroporto e em regiões vizinhas foram inferiores a 0,01 g.m⁻³ (Figura 3).

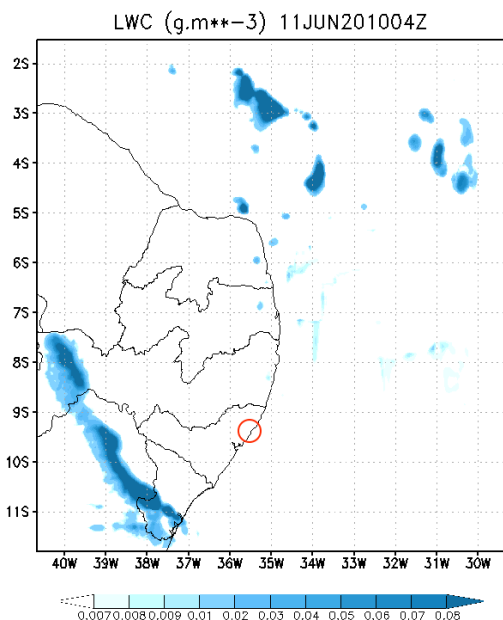


Figura 3 – Mapa ilustrando o conteúdo de água líquida previsto próximo a superfície para o dia 11 de junho de 2010. Fonte: Autor (2020).

O N_d não variou significativamente se comparar os dias com e sem detecção de eventos de nevoeiro pelo FogVISv1.0, apresentando, em geral, valores em torno de 150 cm⁻³ para os 6 episódios de nevoeiro estudados.

Os valores do LWC apresentaram resultados consistentes aos abordados por Hess, Koepke e Schultz (1998), enquanto que o N_d calculado apresentou valores superiores à 15 cm⁻³. As diferenças do N_d obtidos pelo FogVISv1.0 e o abordado por Hess, Koepke e Schultz (1998) são consequência da região de estudo dos eventos de nevoeiros, que para o aeroporto de Maceió sofrem influência do N_d marítimo que normalmente é da ordem de 150 cm⁻³, conforme retratado por Wallace e Hobbs (2006).

Dos 6 casos analisados (Tabela 1), 5 eventos de nevoeiro observados pelas estações de superfície do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares foram previstos pela ferramenta FogVISv1.0, enquanto que apenas 1 caso não foi previsto.

Tabela 1 – Valores observados pelas estações de superfície e previsto pelo FogVISv1.0 para a visibilidade (Vis) e duração dos eventos de nevoeiro. Fonte: Autor (2020).

Dia	Vis (m)	Duração (h)	Vis previsto (m)	Duração prevista (h)
23/06/2008	500	5	550	6
05/05/2010	800	4	706	1
11/06/2010	400	4	>10000	–
07/03/2012	500	3	235	2
27/06/2014	700	1	196	5
19/07/2014	500	1	723	1

Em relação a duração dos eventos de nevoeiros previstos apenas para o caso do dia 19 de julho de 2014 a quantidade de horas de duração prevista foi compatível com a observada. Para os dias 23 de junho de 2008 e 27 de junho de 2014 a duração dos eventos de nevoeiro prevista superestimaram os valores reais, enquanto para os casos do dia 5 de maio de 2010 e 07 de março de 2012 verificou-se uma subestimativa dos valores reais.

Dos eventos de nevoeiro previstos pela ferramenta FogVISv1.0, para 2 episódios ocorridos nos dias 5 de maio de 2010 (nevoeiro de intensidade moderada) e 7 de março de 2012 (nevoeiro de intensidade média) a ferramenta conseguiu detectar a intensidade conforme reportada pela estação de superfície do aeroporto. Para os demais casos a intensidade do nevoeiro foi subestimada ou superestimada, como ocorreu nos dias 23 de junho de 2008 e 19 de julho de 2014, cujos nevoeiros detectados pela estação de superfície do aeroporto eram de intensidade média, porém o FogVISv1.0 previu nevoeiros de intensidade moderada (Figura 4).

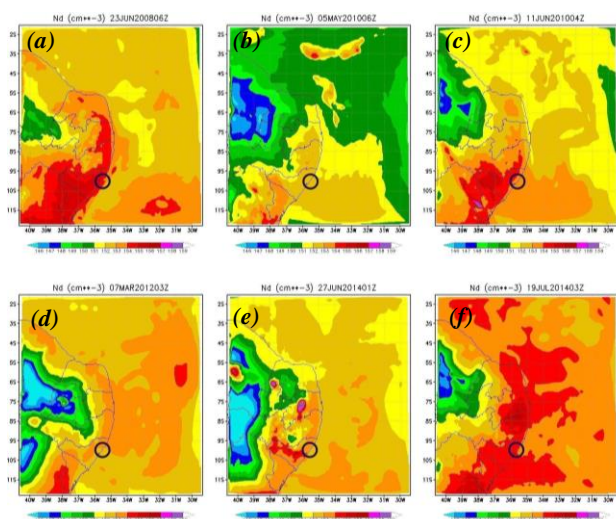


Figura 4 – Mapa ilustrando o número de concentração de gotas previsto próximo a superfície para os dias dos eventos de nevoeiro (a-f), a circunferência em preto denota a região de localização do aeroporto. Fonte: Autor (2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo abordou a questão das condições de baixa visibilidade relacionadas a eventos de nevoeiro no aeroporto de Maceió. Esse fenômeno adverso costuma causar desastres, com potencial para impactos socioeconômicos negativos. A ferramenta FogVISv1.0, criada pelo Laboratório de Meteorologia Física e Sinótica da Universidade Federal de Alagoas com o objetivo de prever episódios de neblina, foi testada com sucesso utilizando dados do WRF (Nobre *et al.*, 2019). Para esta nova abordagem, a capacidade desse modelo paramétrico em determinar a visibilidade horizontal futura foi avaliada pela incorporação de dados BRAMS.

A ferramenta FogVISv1.0 previu 5 dos 6 eventos de nevoeiro com duração igual ou superior a 1h. Para os dias em que o FogVISv1.0 conseguiu detectar eventos de nevoeiro para o aeroporto Zumbi dos Palmares, o LWC em superfície calculado através dos dados do modelo BRAMS foi em torno de $0,016$ a $0,081 \text{ g.m}^{-3}$ e o N_d de aproximadamente 150 cm^{-3} .

Dos 5 eventos de nevoeiro previstos, 2 foram detectados pelo FogVISv1.0 com a mesma intensidade registrada pela estação de superfície do aeroporto e os outros 3 superestimaram (23 de junho de 2008 e 19 de julho de 2014) ou subestimaram (27 de junho de 2014) os valores registrados pela estação de superfície do Aeroporto de Maceió.

Em virtude da ausência de dados observacionais e/ou modelos meteorológicos que forneçam o N_d (cm^{-3}) e o LWC (g.m^{-3}) como dados diagnósticos, as equações aqui utilizadas se comportaram como uma boa alternativa para a obtenção dessas variáveis se comparado com os resultados obtidos por diferentes bibliografias (Nobre *et al.*, 2019).

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram testadas as equações para cálculo do LWC e N_d do modelo FogVISv1.0. Conforme os resultados apresentados, as parametrizações empregadas na ferramenta FogVISv1.0 apresentou um bom

desempenho no cálculo da previsão de visibilidade baixa associada a eventos de nevoeiro para o aeroporto de Maceió, ao prever 83% dos eventos de nevoeiro reportados pela estação de superfície do aeroporto de Maceió. Apesar do bom desenho obtido pelo método paramétrico aqui utilizado para cálculo do N_d , recomenda-se o teste de outras parametrizações para obtenção do número de concentração de gotas, no intuito de determinar a acurácia de outras equações na estimativa desta variável.

5. REFERÊNCIAS

- Bergot, T., Carrer, D., Noilhan, J., Bougeault, P. Improved site-specific numerical prediction of fog and low clouds: A feasibility study. *Weather and Forecasting*, v. 20, 627–646, 2005.
- Bott, A.; Trautmann, T. A New Efficient Forecast Model of Radiation Fog and Low-Level Stratiform Clouds. *Atmospheric Research*, v. 4, 191-203, 2002.
- Chen, C., Cotton, W. R. A one-dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer. *Boundary-layer Meteorology*, v. 25, 289-321. 1983.
- Cotton, W. R., Pielke, R. A., Walko, R. L., Liston, G. E., Tremback, C.J., Jiang, H., Mcanelly, R.L., Harrington, J.Y., Nicholls M.E., Carrio, G.G., Mcfadden, J.P. Rams 2001: Current status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 82, 5-29, 2003.
- DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. *Códigos Meteorológicos METAR e SPECI*. Organizador: Carlos Vuyk de Aquino. Rio de Janeiro, RJ: DECEA, 2017.
- Epperley, P. O. Fog formation and dissipation in the Oklahoma City area, 1920 to 1931. *Monthly Weather Review*, v. 61, 267-269, 1933.
- Estoumel, C., Guedalia, D. A new parameterization of eddy diffusivities for nocturnal boundary layer modeling. *Boundary Layer Meteorology*, v. 39, 191-203, 1987.
- Fedorova, N., Levit, V., Fedorov, D. Fog and Stratus Formation on the Coast of Brazil. *Atmospheric Research*, v. 87, 268-278, 2008.
- Fedorova, N., Vladimir, L., Silva, A. O., Santos, D. M. B. Low visibility formation and forecasting on the northern coast of Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, v. 170, 689-709, 2013.
- Fedorova, N., Levit, V., Souza, J. L., Silva, A.O., Afonso, J.M.S. Fog Events at Maceio Airport on the Northern Coast of Brazil During 2002-2005 and 2007. *Pure and Applied Geophysics*, v. 172, 2727-2749, 2015.
- Fedorova, N., Levit, V. *Fog in the Tropical Region: Fog formation in the tropical region of the northeast of Brazil*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016, 92p.

- Fish, G. V. of lake Ponchartrain on fog formation at Shushan airport, New Orleans, LA. *Monthly Weather Review*, v. 64, 203-204, 1936.
- Fouquart, Y., Bonnel, B. Computations of Solar Heating of the Earth's Atmosphere - A New Parameterization. *Beitrag zur Physik der Atmosphere*, v. 53, 35-62, 1980.
- Freitas, S. R.; Panetta, J.; Longo, Karla M.; Rodrigues, L. F.; Moreira, D. I. S.; Rosário, N. E.; Dias, P. L. S.; Dias, M. A. F. S.; Souza, E. P.; Freitas, E. D. The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas. *Geoscientific Model Development*, v. 10, 189-222, 2017.
- Gomes, H. B., Fedorova, N., Levit, V. Rare events of stratus clouds on the northeast coast of Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, 9-18, 2011.
- Gultepe, I., Isaac, G. An analysis of cloud droplet number concentration (Nd) for climate studies: Emphasis on constant Nd. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, v. 130, 2377-2390, 2004.
- Gultepe, I. Muller, M. D., Boybeyi, Z. A new warm fog parametrization scheme for numerical weather prediction models. *Journal of Applied Meteorology*, v. 45, 1469-1480, 2006.
- Hess, M., Koepke, P., Shult, I. Optical properties of aerosols and clouds: The software package OAC. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 79, 831-844, 1998.
- Huang, J., Wang, B., Huang, F., Lu, W., Jing, T. The spring Yellow Sea fog: synoptic air-sea characteristics associated with different airflows paths. *Acta Oceanologica Sinica*, v. 37, 20-29, 2018.
- Kessler, E. On the continuity and distribution of water substance in atmospheric circulations. *Atmospheric Research*, v. 38, 109-145, 1995.
- Kimura, K. Origin of the fog in Namib desert in dry season. *African study monographs*, v. 30, 57-64, 2005.
- Knox, J. A., Nevius, D. S., Knox, P. N. Two simple and accurate approximations for wet-bulb temperature in moist conditions, with forecasting applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 98, 1897-1906, 2017.
- Mahrt, L., Pan, H. L. A Two-Lay Model of Soil Hydrology. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 29, 1-20, 1984.
- Moreira, J. R. S. *Fundamentos e Aplicações da Psicrometria*. São Paulo: RPA Editorial LTDA, 1999, 194p.
- NOAA. *NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999*. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.5065/D6M043C6>. Acesso em: 6 nov. 2021.
- Nobre, J.P.G., Fedorova, N., Levit, V.; Santos, A. S.; Lyra, M. J. A. Nova metodologia para previsão de eventos de nevoeiro para o Aeroporto Zumbi dos Palmares em Maceió (Alagoas). *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, 527-535, 2019.
- Pelie, R. J., Mack, E. J., Rogers, C. W., Katz, U., Kochmond, W. C. The formation of marine fog and the development of fogstratus systems along the California coast. *Journal of Applied Meteorology*, v. 18, 1275-1286, 1979.
- Petterssen, S. *Weather Analysis and Forecasting*. Nova York e Londres: Mcgraw-Hill, 1940, 266p.
- Pielke, R. A., Moran, M. D., Lyons, W. A. A comprehensive meteorological modeling system-RAMS. *Meteorology and Applied Geophysics*, v. 49, 69-91, 1992.
- Tardif, R., Zwack, P. *Providing Meteorological support to the Aircraft Vortex Spacing System Using the COBEL One-Dimensional Numerical Model. Report on Development Activities for FY 1997*. Massachusetts Institute of Technology Lincoln Laboratory, 1998, 53p.
- Tubelis, A., Nascimento, F. J. L. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel, 1983, 374p.
- Vidot, J.; Hocking, J. *Note on RTTOV v12 unit conversions for gases, clouds and aerosols*. 2017. Disponível em: <https://nwpsaf.eu/site/download/documentation/rtm/docs_rttov12/rttov_gas_cloud_aerosol_units.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2016.
- Walko, R. L., Cotton, W. R., Meyers, M. P., Harrington, J. Y. New RAMS cloud microphysics parameterization Part I: the single-moment scheme. *Atmospheric Research*, v. 38, 29-62, 1995.
- Wallace, J., Hobbs, P. *Atmospheric Science 2nd Edition*. Seattle: Academic Press, 2006, 504.
- Willet, H. C. Synoptic studies in Fog. *Meteorology Paper*, v. 1, 2-39, 1930.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Alagoas, juntamente com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) por financiarem o projeto Desenvolvimento de Métodos de Previsão de Nevoeiro para o Estado de Alagoas.

Recebido em: 01/10/2020

Aceito para publicação em: 09/12/2020