

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - BACHARELADO

Davidson Lima de Melo

**ANÁLISE DOS PROCESSOS FÍSICOS DE FORMAÇÃO DA VISIBILIDADE BAIXA  
NO NORDESTE BRASILEIRO E PREVISÃO PELOS MODELOS PAFOG E FOGVIS**

Volume I

Maceió - AL

2022

DAVIDSON LIMA DE MELO

**Análise Dos Processos Físicos de Formação da Visibilidade Baixa no Nordeste Brasileiro  
e Previsão Pelos Modelos PAFOG e FogVIS**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC  
Apresentado ao Programa de Graduação em  
Meteorologia da Universidade Federal de  
Alagoas, como requisito parcial para obtenção  
do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Natalia Fedorova

Volume I

Maceió - AL

2022

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
Bibliotecária Responsável: Valter dos Santos Andrade

M528a Melo, Davidson Lima de.

Análise dos processos físicos de formação da visibilidade baixa no  
Nordeste brasileiro e previsão pelos modelos PAFOG e FOGVIS /  
Davidson Lima de Melo. – 2022.  
86 f. : il.

Orientadora: Natalia Fedorova.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia) –  
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas,  
Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 75-80.

Apêndices: f. 81-86.

1. Nevoeiro – Brasil, Nordeste. 2. Modelo PAFOG. 3. Modelo  
FOGVIS. 4. Meteorologia. I. Título.

CDU: 551.575

## **DEDICATÓRIA**

Dedico especialmente a minha mãe Edilene e a todos que se empenham em construir dias melhores. “*Scientia potentia est*”.

## **AGRADECIMENTOS**

Principalmente aos meus orientadores Profs. Drs. Natalia Fedorova e Vladimir Levit.  
E pelo apoio que recebi dos meus irmãos e amigos.

## RESUMO

Os fenômenos meteorológicos adversos podem causar sérias perdas econômicas e sociais, incluindo vidas humanas. Sua formação está fortemente ligada com as condições atmosféricas específicas e com os sistemas de escala sinótica atuantes na região. Por isso, no mundo todo, os modelos de previsão dos fenômenos adversos estão sendo criados para cada região em particular. O objetivo do estudo foi analisar os processos físicos de formação de nevoeiros e de fenômenos meteorológicos que causam visibilidade baixa e avaliação de previsão pelos modelos. Foi tabelado todos os casos nos aeroportos de Maceió (32 casos), Recife (1 caso) e Campina Grande (185 casos) nos 13 anos (2008 – 2020), e alguns foram escolhidos para análises mais detalhadas. Foram utilizados dados de diferentes fontes: a) dados de superfície dos aeroportos obtidos pela Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET); b) imagens dos satélites GOES e METEOSAT disponibilizadas pelo CPTEC, nos canais infravermelho e vapor d'água realçado; c) produtos de reanálise dos modelos numéricos do ECMWF, ERA5 (0,25°x0,25°). O software gráfico GrADS foi utilizado para a confecção de campos meteorológicos e perfis verticais para a análise sinótica e termodinâmica. O modelo PAFOG foi desenvolvido na Alemanha e neste trabalho foi ajustado para as condições atmosféricas locais. O software FogVIS foi desenvolvido no laboratório anteriormente. Estes dois modelos foram utilizados para previsão de nevoeiro e a comparação de seus resultados com o registrado pelo código METAR. Este foi feito para elaborar a metodologia mais eficaz em cada cenário. Nos casos de Maceió tinham cavado em baixos níveis e cristas de médios para altos níveis. Em Campina Grande foi o contrário com crista em baixos níveis e houvesse confluência oriundos de correntes de leste. As previsões do modelo PAFOG com 18, 12 e 06 horas de antecedência foram muito satisfatórias para Maceió e Recife. Para Campina Grande, as previsões com 18 horas de antecedência são mais satisfatórias. Para aprimorar a execução do FogVIS em conjunto ao modelo PAFOG, foi feita a comparação dos resultados da previsão de 24 e 18h de antecedência. O Fog Stability Index (FSI) indicou alta possibilidade de ocorrência de nevoeiro com 18h de antecedência. Tanto o software FogVIS quanto o modelo PAFOG demonstraram, no geral, melhor eficiência fazendo previsão com 18h de antecedência. O FogVIS fez excelentes previsões para Maceió e Campina Grande, mostrando-se favorável à sua utilização nessas cidades.

**Palavras chaves:** Nevoeiro, Nordeste Brasileiro, PAFOG e FogVIS.

## ABSTRACT

Adverse meteorological phenomena can create serious economic and social losses, including human lives. Its formation is strongly connected to specific atmospheric conditions and synoptic scale systems in the region. Therefore, all over the world, models for adverse events forecast are being created for each region. The study goal was to analyze the physical processes of fog formation and meteorological phenomena that cause low visibility and forecast evaluation by the models. All fog events at the airports of Maceió (32 cases), Recife (1 case) and Campina Grande (185 cases) in the 13 years (2008 – 2020) were tabulated, and some were chosen for more detailed analysis. Data from different sources were used: a) airport surface data obtained by the Meteorology Network of the Aeronautics Command (REDEMET); b) GOES and METEOSAT satellite images provided by CPTEC, in the infrared and water vapor channels; c) reanalysis products of the ECMWF numerical models, ERA5 (0.25°x0.25°). The GrADS graphic software was used to create meteorological fields and vertical profiles for synoptic and thermodynamic analysis. The PAFOG model was developed in Germany and in this work it was adjusted to the local atmospheric conditions. FogVIS software was developed in the lab previously. These two models were used to fog forecast and to compare their results with data recorded by the METAR code. This was done to work out the most effective methodology in each scenario. In the cases of Maceió, they fog events were associated with low level trough at low levels and ridges from medium to high levels. In Campina Grande it was the opposite with ridge at low levels and confluence from easterly currents. The fog forecast by the PAFOG model with 18, 12 and 06 hours antecedence were very satisfactory for Maceió and Recife. For Campina Grande, fog forecasts with 18 hours antecedence are more satisfactory. To improve the execution of FogVIS in conjunction with the PAFOG model, the results of the 24-hour and 18-hour forecast were compared. The Fog Stability Index (FSI) indicated a high possibility of fog occurring 18 hours in advance. Both the FogVIS software and the PAFOG model showed, in general, better efficiency by forecasting 18 hours in advance. FogVIS made excellent forecasts for Maceió and Campina Grande, proving to be favorable to its use in these cities.

**Keywords:** Fog, Northeast Brazil, PAFOG and FogVIS.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|               |                                                                |
|---------------|----------------------------------------------------------------|
| AL            | Alagoas                                                        |
| API           | <i>Application Programming Interface</i>                       |
| CG            | Campina Grande                                                 |
| CPTEC         | Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos               |
| CAPE          | <i>Convective Available Potential Energy</i>                   |
| Dr. (a)       | Doutor (a)                                                     |
| ECMWF         | <i>European Center for Medium-Range Weather Forecasts</i>      |
| ERA5          | <i>ECMWF Reanalysis v5</i>                                     |
| FG            | <i>Fog</i>                                                     |
| Fog SI / FSI  | <i>Fog Stability Index</i>                                     |
| FogVIS (v1.0) | <i>Fog Visibility (versão 1)</i>                               |
| GOES          | <i>Geostationary Operational Environmental Satellite</i>       |
| GrADS         | <i>Grid Analysis and Display System</i>                        |
| HYSPLIT       | <i>Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory</i> |
| IBGE          | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                |
| ICAO          | <i>International Civil Aviation Organization</i>               |
| ICAT          | Instituto de Ciências Atmosféricas                             |
| ICEA          | Instituto de Controle do Espaço Aéreo                          |
| INPE          | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais                      |
| K             | Kelvin                                                         |
| LWC           | <i>Liquid Water Content</i>                                    |
| M             | Maceió                                                         |
| METAR         | <i>Meteorological Aerodrome Report</i>                         |
| METEOSAT      | <i>Meteorological Satellite</i>                                |
| Mod.          | Moderado                                                       |
| NEB           | Nordeste Brasileiro                                            |
| Obs.          | Observado [visibilidade]                                       |
| PAFOG         | <i>Parameterized FOG</i>                                       |
| PB            | Paraíba                                                        |
| PE            | Pernambuco                                                     |

|                |                                                  |
|----------------|--------------------------------------------------|
| POA            | Perturbação Ondulatória dos Alísios              |
| Prof. (ª)      | Professor (a)                                    |
| QGIS           | <i>Quantum Geographic Information System</i>     |
| R              | Recife                                           |
| REDEMET        | Rede de Meteorologia [do Comando da Aeronáutica] |
| SBKG           | Aeroporto de Campina Grande [ICAO]               |
| SBMO           | Aeroporto de Maceió [ICAO]                       |
| SBRF           | Aeroporto de Recife ICAO]                        |
| Skew-T / Log-P | Temperatura Inclínada e Logaritmo de Pressão     |
| T              | Temperatura do Ar                                |
| Td             | Temperatura do Ponto de Orvalho                  |
| UFAL           | Universidade Federal de Alagoas                  |
| UTC            | <i>Universal Time Coordinated</i>                |
| Vis. H.        | Visibilidade Horizontal                          |
| WTDW           | <i>Wave Disturbance in the Trade Winds</i>       |
| ZCIT           | Zona de Convergência Intertropical               |

## SUMÁRIO

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                                | <b>11</b> |
| <b>2 OBJETIVOS</b>                                 | <b>12</b> |
| 2.1 Geral                                          | 12        |
| 2.2 Específicos                                    | 12        |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                     | <b>13</b> |
| 3.1 Pesquisas no Brasil                            | 13        |
| 3.2 Pesquisas no Nordeste Brasileiro               | 16        |
| 3.3 Modelos de Previsão                            | 20        |
| <b>4 METODOLOGIA</b>                               | <b>19</b> |
| 4.1 Regiões e Período de Análise                   | 19        |
| 4.2 Eventos de Nevoeiros Para os Aeroportos do NEB | 19        |
| 4.3 Dados de Reanálise e Software GrADS            | 23        |
| 4.4 Imagens de Satélite                            | 23        |
| 4.5 Modelo PAFOG                                   | 24        |
| 4.6 Software FogVIS                                | 24        |
| <b>5 RESULTADOS DE DISCUSSÕES</b>                  | <b>26</b> |
| 5.1 Maceió - AL                                    | 26        |
| 5.1.1 Análise Geral dos Casos de Maceió - AL       | 26        |
| 5.1.2 Casos Selecionados                           | 26        |
| 5.1.3 Análise Sinótica e Imagens de Satélites      | 30        |
| 5.1.4 Análise Termodinâmica                        | 34        |
| 5.2 Recife - PE                                    | 38        |
| 5.2.1 Análise do Único Caso                        | 38        |
| 5.2.2 Análise Sinótica e Imagens de Satélites      | 39        |
| 5.2.3 Análise Termodinâmica                        | 40        |

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3 Campina Grande - PB                                        | 41        |
| 5.3.1 Análise Geral dos Casos de Campina Grande - PB           | 41        |
| 5.3.2 Casos Seleccionados                                      | 41        |
| 5.3.3 Análise Sinótica e Imagens de Satélites                  | 48        |
| 5.3.4 Análise Termodinâmica                                    | 54        |
| 5.4 PREVISÃO DE NEVOEIRO PELOS MODELOS - PAFOG, FogVIS         | 60        |
| 5.4.1 Previsão de Nevoeiro Pelo Modelo PAFOG                   | 60        |
| 5.4.1.1 - Modelo PAFOG para Maceió                             | 60        |
| 5.4.1.2 - Modelo PAFOG para Recife                             | 63        |
| 5.4.1.3 - Modelo PAFOG para Campina Grande                     | 64        |
| 5.4.2 Previsão de Nevoeiro Pelo Modelo FogVIS                  | 69        |
| 5.4.3 Resultados do Modelo PAFOG com FogVIS e Dados Observados | 70        |
| <b>6 CONCLUSÕES</b>                                            | <b>71</b> |
| <b>7 REFERÊNCIAS</b>                                           | <b>75</b> |

## 1 - INTRODUÇÃO

Nevoeiros são gotículas de água em suspensão na superfície, reduzindo a visibilidade horizontal para menos de 1km (Varejão e Silva et al., 2006). Podem ser classificados de acordo com a intensidade, como: fraco, moderado ou intenso; quando a visibilidade varia, respectivamente, de 1000m a 500m, 500m a 100m e abaixo de 100m.

Um acidente envolvendo um avião bimotor (Figura 1) foi causado por um evento de nevoeiro imprevisto próximo ao aeroporto de Maceió em 2007 (Fedorova et al., 2012). A falta de estudos sobre a formação de nevoeiro na região tropical do Brasil foi o fator principal, pela conclusão oficial, sobre o que provocou este acidente. Para minimizar atrasos ou cancelamentos de voos, e até mesmo perdas fatais, torna-se necessário o desenvolvimento de novos métodos para sua previsão.



Figura 1: Nevoeiro no aeroporto Zumbi dos Palmares (A) e acidente de avião bimotor em 2007 (B), o avião se chocou com fios de alta tensão devido a redução da visibilidade horizontal. Fonte: Alagoas24horas.

Willet (1928) determinou que existem três tipos de nevoeiro: radiação, advecção e frontal. 1) Radiação: Resfriamento radiativo da superfície, ocorre em noites de céu limpo e ventos fracos; 2) Advecção: Ar quente e úmido passa sobre uma superfície fria, a mistura com o ar frio atinge a saturação; e 3) Frontal: A passagem de uma frente fria causa o súbito resfriamento do ar sobre a superfície úmida gera um nevoeiro.

Petersen (1956) apresentou detalhes específicos sobre condições locais, utilizando novas equações baseadas nas teorias existentes de evaporação, resfriamento e mistura. Byers et al. (1959) apontaram a evaporação de uma superfície úmida como a principal etapa no desenvolvimento do nevoeiro.

## **2 - OBJETIVOS**

### ***2.1 - Geral.***

Promover a capacidade técnico-científica na área de Meteorologia, a fim de se obter informações mais relevantes que possam auxiliar os órgãos competentes na previsão de fenômenos adversos para evitar danos ocasionados por visibilidade baixa. Deste modo, obtendo-se mais ferramentas que aperfeiçoem a previsão destes fenômenos adversos que ocorrem na região tropical do Brasil.

### ***2.1 - Específicos.***

Elaborar arquivos de dados dos modelos numéricos, estações de superfície e de radiossondagens para analisar os processos físicos de formação de nevoeiros e eventos de visibilidade horizontal reduzida no nordeste brasileiro (NEB).

Utilizar o modelo PAFOG para previsão de nevoeiros no NEB, comparando-o com os cálculos do software FogVIS v1.0 e a visibilidade horizontal observada registrada pelo Código METAR, para avaliar a possibilidade de utilização destes métodos para a previsão nevoeiro em diferentes regiões do NEB.

### 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 - Pesquisas no Brasil.

Uma pesquisa realizada por França et al. (2019) analisa as ocorrências de nevoeiro antes, durante e depois da construção do Aeroporto de Guarulhos (Figura 2), no período de 1951 a 2015. Concluiu-se que: 1) a urbanização causou aumento significativo na temperatura; 2) a duração média dos nevoeiros por ano diminuiu 73%; e 3) a ocorrência de nevoeiro reduziu 10%.

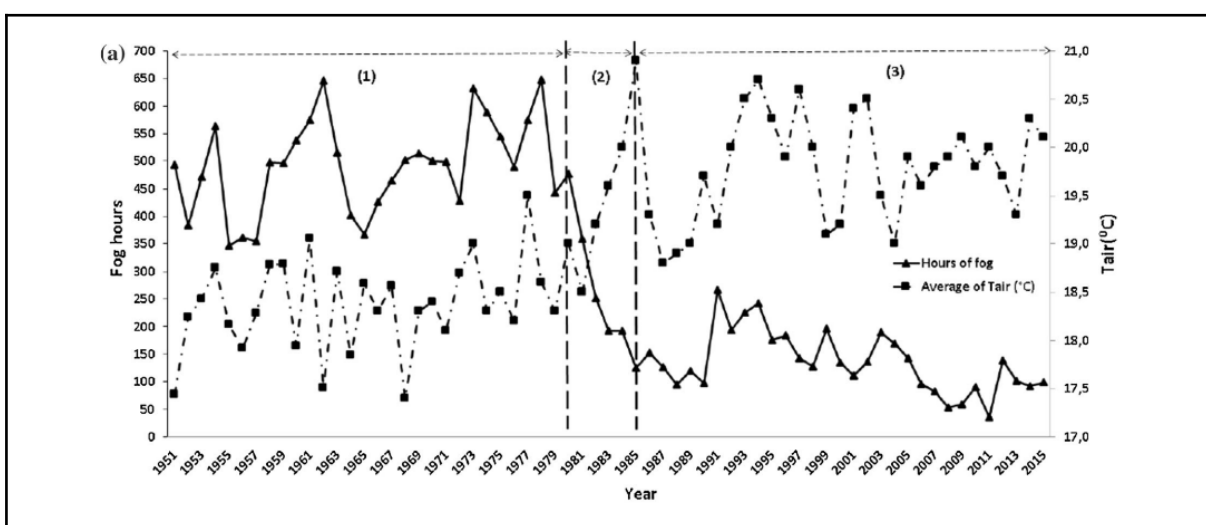


Figura 2: Frequência de casos de nevoeiro (linha contínua) e temperatura média do ar (linha pontilhada).

Período: 1) antes da construção; 2) durante; e 3) após a construção do aeroporto. Fonte: França et al., 2019.

Piva et al. (1999) determinaram três fatores que influenciam a formação da névoa de radiação por sondagem na costa sul do Brasil: 1) inversão de temperatura; 2) camada úmida em baixos níveis e seca no restante da atmosfera; e 3) vento fraco na superfície. Foram elaborados dois padrões da distribuição vertical de temperatura nos dias de com o nevoeiro de radiação. Também, foram analisadas as características de anticiclones, associados com fenômeno, e as modificações destes sistemas de escala sinótica. Finalmente, foi criado um método de previsão de nevoeiro de radiação (Figura 3), que incluiu a sequência de etapas para meteorologistas, que trabalham na área operacional.

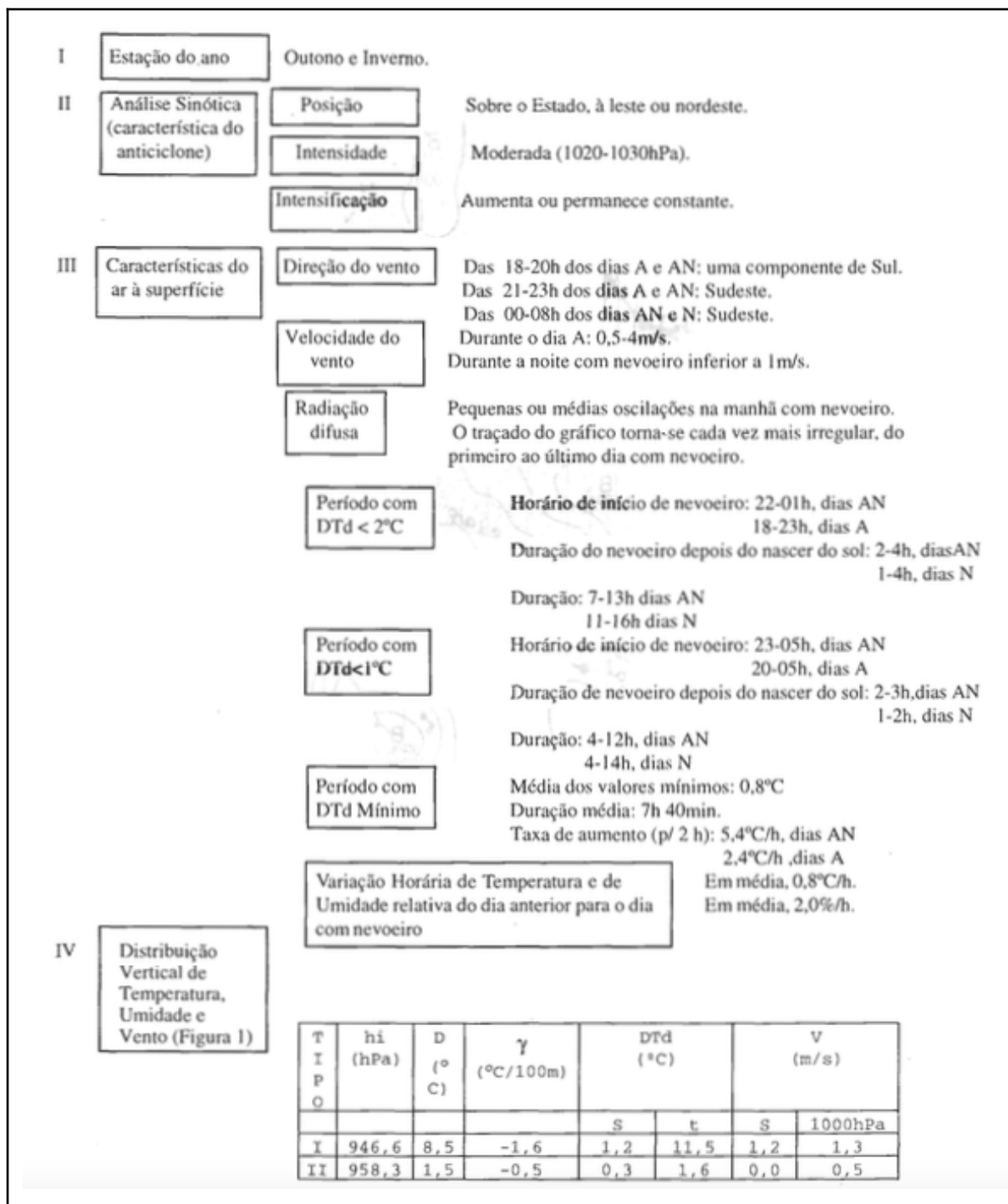


Figura 3: Sequência de etapas para previsão de nevoeiro de radiação no sul do Brasil. Fonte: Piva, 1999

A comparação dos processos físicos da formação de nevoeiro e nuvens stratus na costa norte e sul do Brasil foi feita em Fedorova, 2008. As frequências de ambos os fenômenos foram maiores no litoral sul (Afonso, 2019). A formação de nevoeiro/stratus está associada, em geral, a uma perturbação de ondas no campo de ventos alísios (WDTW) na costa norte. Além disso, nuvens stratus foram observadas na periferia da frente fria e sob o Vórtice

Ciclônico Troposférico Superior. Os principais processos sinóticos de formação de nevoeiro na costa sul são uma alta discordância ao longo da costa leste da América do Sul e um núcleo quente barotrópico de baixa ocorrência ao norte da Argentina.

A formação de nevoeiro é iniciada entre esses dois sistemas sinóticos. Houve 1 ou 2h de duração de nevoeiro no litoral norte e em média 12h no litoral sul. Uma variedade de elementos e fenômenos meteorológicos foram estudados antes e durante os dias de nevoeiro/stratus, e são apresentados resultados de uma análise de atmosfera instável.

A classificação de perfis verticais de temperatura e ponto de orvalho para diferentes processos físicos de nevoeiro/stratus também foi desenvolvida. No litoral norte, não foram observadas camadas estáveis nos perfis verticais e a camada úmida foi muito estreita em todos os casos. Uma inversão intensa ou camada estável com alta umidade de 950 até 670 hPa é responsável pelo desenvolvimento de nevoeiro na costa sul.

Vladair (1998) também definiu uma metodologia de identificação de nevoeiro baseada no perfil vertical. É feita a análise da situação sinótica para o dia atual, caso se enquadre em alguma das situações da Figura 4A, é simulado um perfil para o dia seguinte, que precisa encaixar em alguma situação da Figura 4B. Se todas as etapas forem positivas ao final destes passos (Figura 5), há a possibilidade de ocorrência de nevoeiro para o dia seguinte.

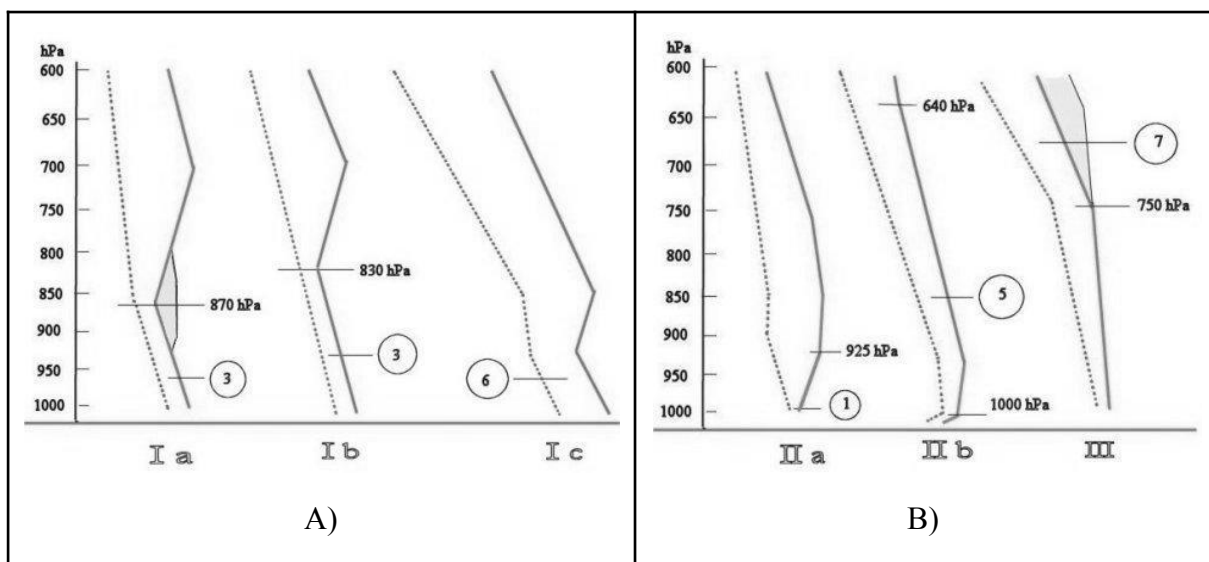


Figura 4: Esquemas de Perfis Verticais para a metodologia estudada. Fonte: Vladair, 1998.

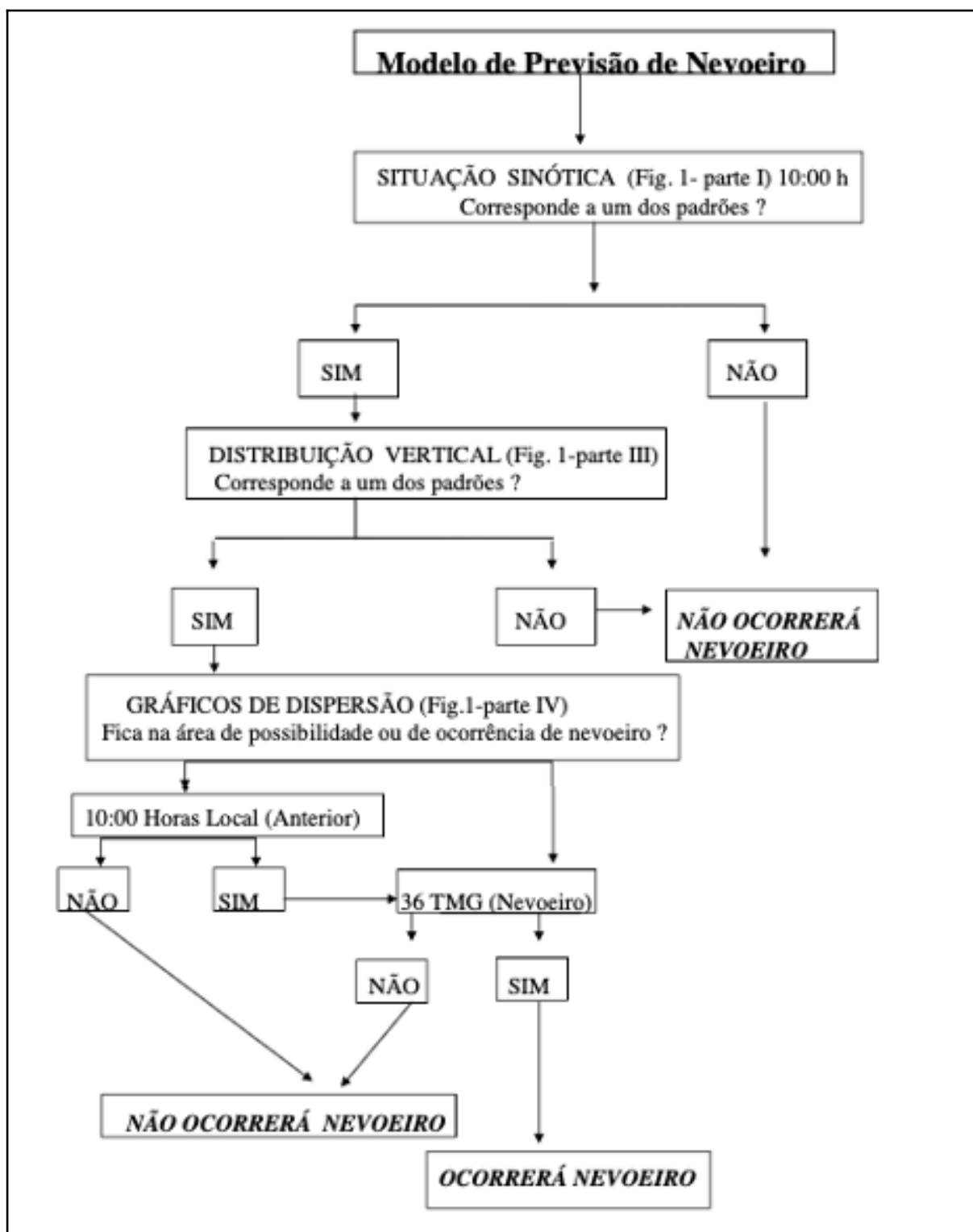


Figura 5: Fluxograma para a metodologia definida por Vladair. Fonte: Vladair, 1998.

### 3.2 - Pesquisas no Nordeste Brasileiro.

No Nordeste do Brasil, o relevo é acidentado, variando de planícies litorâneas a planaltos, o que contribui para a heterogeneidade climatológica da região. Predominam os

climas tropical e semiárido, sendo este uma transição marcada por chuvas escassas e mal distribuídas ao longo do ano (Molion e Bernardo, 2002).

As seguintes condições são necessárias para o desenvolvimento de nevoeiro intenso em Maceió (Fedorova et al., 2012): 1) brisa calma; 2) resfriamento noturno por radiação antes do nascer do sol; 3) inversão térmica próxima à superfície; 4) instabilidade atmosférica acima de 925 hPa; 5) levantamento fraco em baixos níveis e afundamento em médios níveis.

Alguns estudos sobre nevoeiros no NEB também relatam que perturbações ondulatórios nos ventos alísios (Oliveira V., 1998; Molion e Bernardo, 2002; Rodrigues, 2010; Fedorova et al., 2008 e 2015) e a convergência de umidade em baixos níveis que interagem com movimentos descendentes de corrente de jato (Ratisbona, 1976) podem provocar nevoeiros.

Resultados satisfatórios das aplicações do modelo HYSPLIT para previsão de nevoeiro fraco foram obtidos com 12h de antecedência (Levit, 2007 e Fedorova, 2007). Em particular, a previsão de nível estável pelo modelo ETA foi prevista satisfatoriamente com 12h de antecedência; movimentos verticais foram melhor previstos com até 48h de antecedência.

Fedorova et al. (2008) concluiu que nevoeiro e nuvens stratus são raras no litoral norte do Brasil. Dois eventos raros foram registrados em Maceió (aeroporto internacional Zumbi dos Palmares), nuvens stratus durante três e quatro dias consecutivos (Gomes et al., 2011). O processo dessas formações envolviam movimentos ascendentes fracos em baixos níveis e uma curvatura anticiclônica em altos níveis, que formou movimentos descendentes.

Através de estudos na costa norte do Brasil (Fedorova et al., 2015 e 2016) utilizando perfis termodinâmicos (Figura 6) concluiu-se que os seguintes mecanismos físicos contribuem para a formação de nevoeiros na costa norte: 1) confluência de umidade; 2) mudanças na direção do vento trazem umidade do rio para a região; 3) precipitação antes do evento umidifica o ar pela evaporação das gotas de chuva; 4) evaporação quente da água do mar aumenta a umidade próximo à superfície; 5) fluxo de calor latente positivo aumenta o acúmulo de umidade na região litorânea (Figura 7); e 6) fluxo de calor sensível negativo resulta em resfriamento do ar e, em seguida, possível condensação de vapor de água (Figura 8). A vegetação de cana-de-açúcar não afeta a previsão do modelo PAFOG (Afonso, 2016).

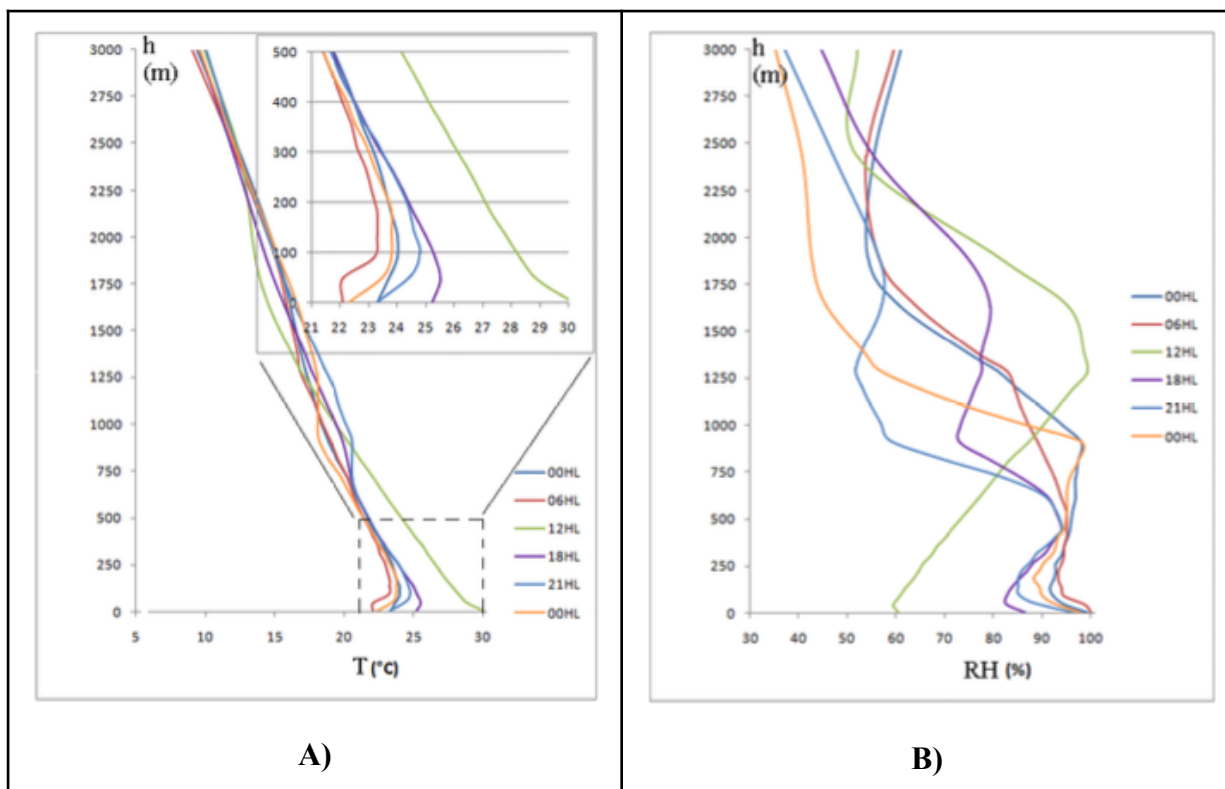


Figura 6: Perfis verticais de temperatura (A) e umidade relativa (B) antes, durante e depois do evento de nevoeiro no dia 21/05/2005. Fonte: Fedorova et al., 2016.

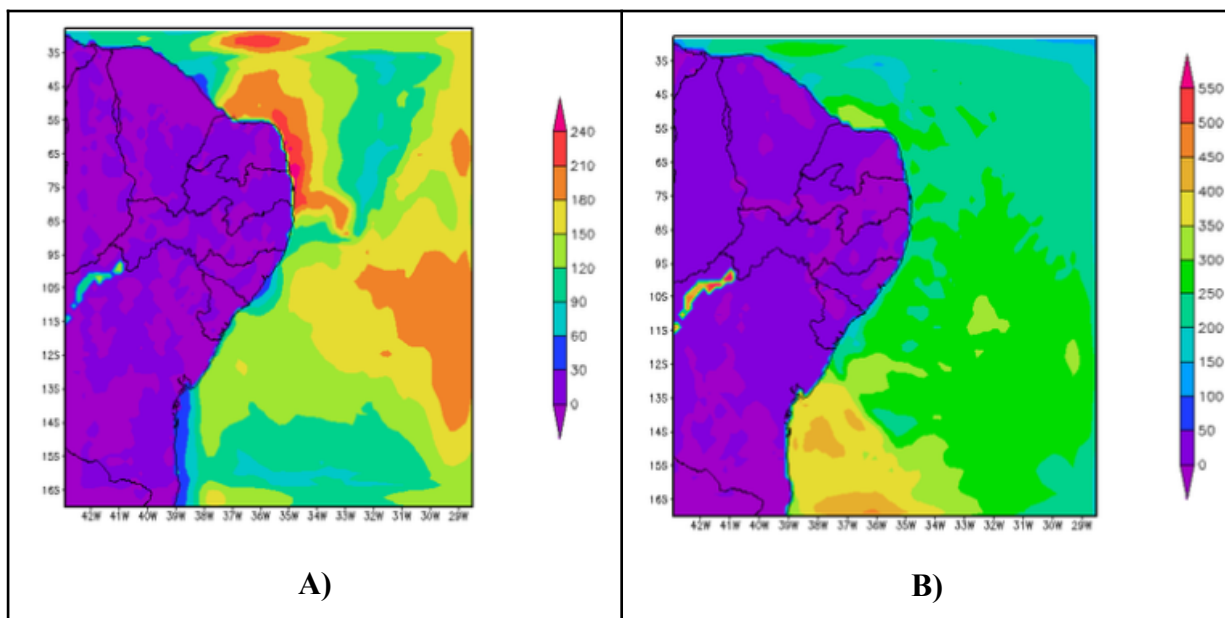


Figura 7: Fluxo de calor latente na superfície ( $\text{W/m}^2$ ) pelo WRF às 06h UTC no dia 12/04/2002 (A) e no dia 14/05/2005 (B). Fonte: Fedorova et al., 2016.

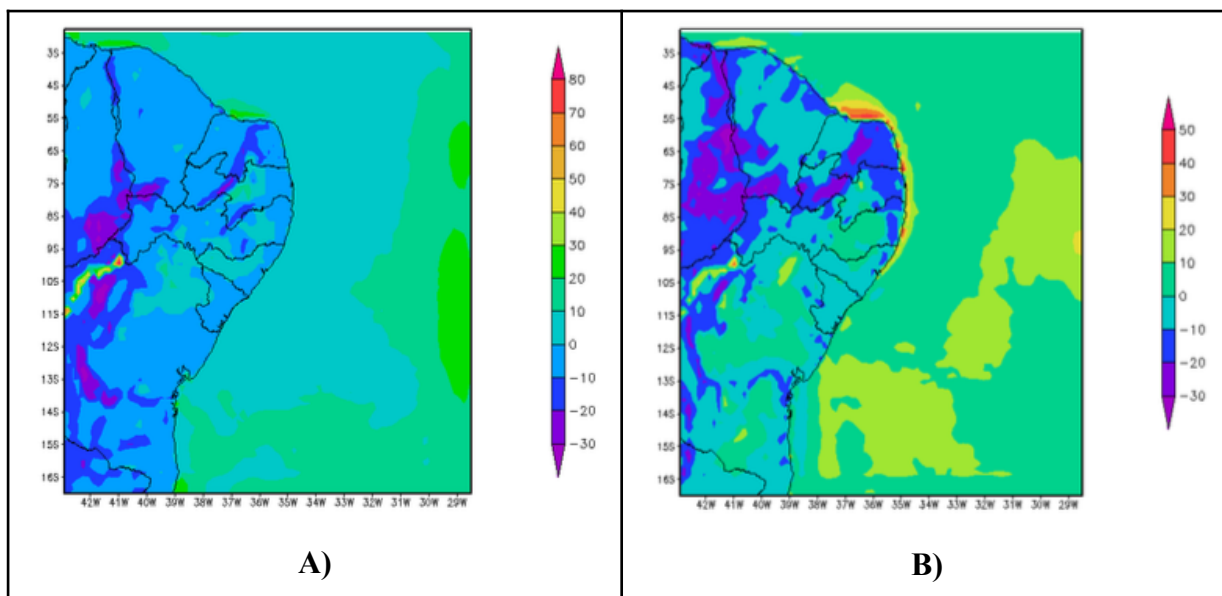


Figura 8: Fluxo de calor sensível na superfície ( $\text{W/m}^2$ ) pelo WRF às 06h UTC no dia 21/05/2005 (A) e no dia 12/07/2002 (B). Fonte: Fedorova et al., 2016.

A influência de ciclones tropicais do Hemisfério Norte na formação de movimentos descendentes no NEB foi descrita em detalhes em Fedorova et al (2016), Cavalcante (2018), Fedorova et al., 2020. Esta subsidência provocou a formação de nevoeiro e névoa úmida em várias regiões do NEB. O mecanismo da influencia dos ciclones tropicais e distúrbios tropicais do Hemisfério Norte é mostrado na forma didática na Figura 9.

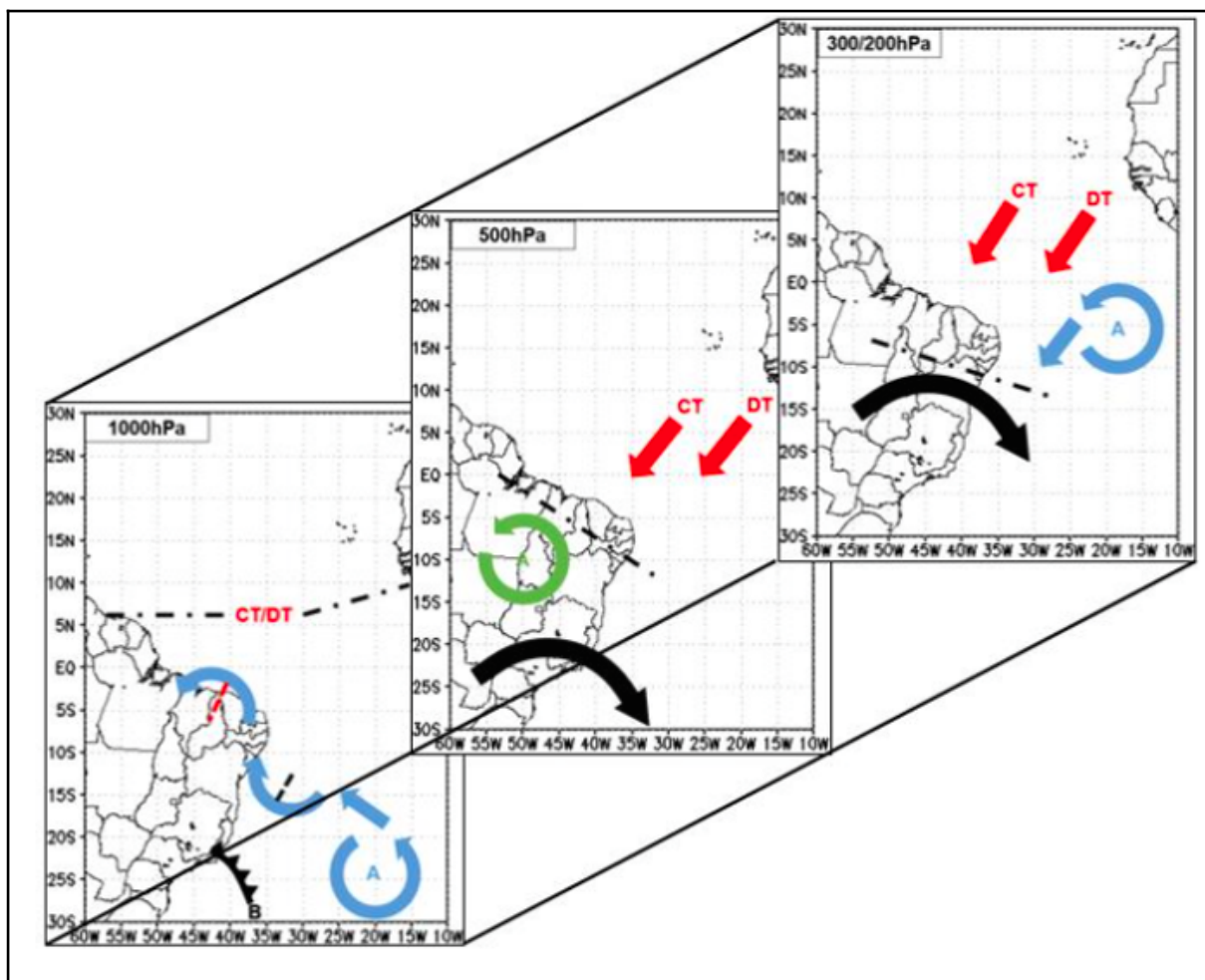


Figura 9: mecanismo da influencia dos ciclones tropicais e distúrbios tropicais do Hemisfério Norte.

Fonte: Cavalcante (2018), Fedorova et al. (2020).

### 3.3 - Modelos de Previsão

O modelo unidimensional PAFOG (Parameterized Fog), desenvolvido por Bott e Trautmann (2002) para a Alemanha, é capaz de prever nevoeiro com 24, 18, 12 e 06 horas de antecedência.

O modelo PAFOG utiliza diversos parâmetros para calcular a visibilidade horizontal (Figura 10), como localização, dados de superfície, características do solo e da vegetação, temperaturas do ar e do ponto de orvalho, nebulosidade. A utilização deste modelo para o Aeroporto de Maceió (da Silva, A. 2009 e 2010; Fedorova 2015; Oliveira, C. 2019) e de Campina Grande (Melo, D. 2018 e 2019) apresentou resultados satisfatórios.

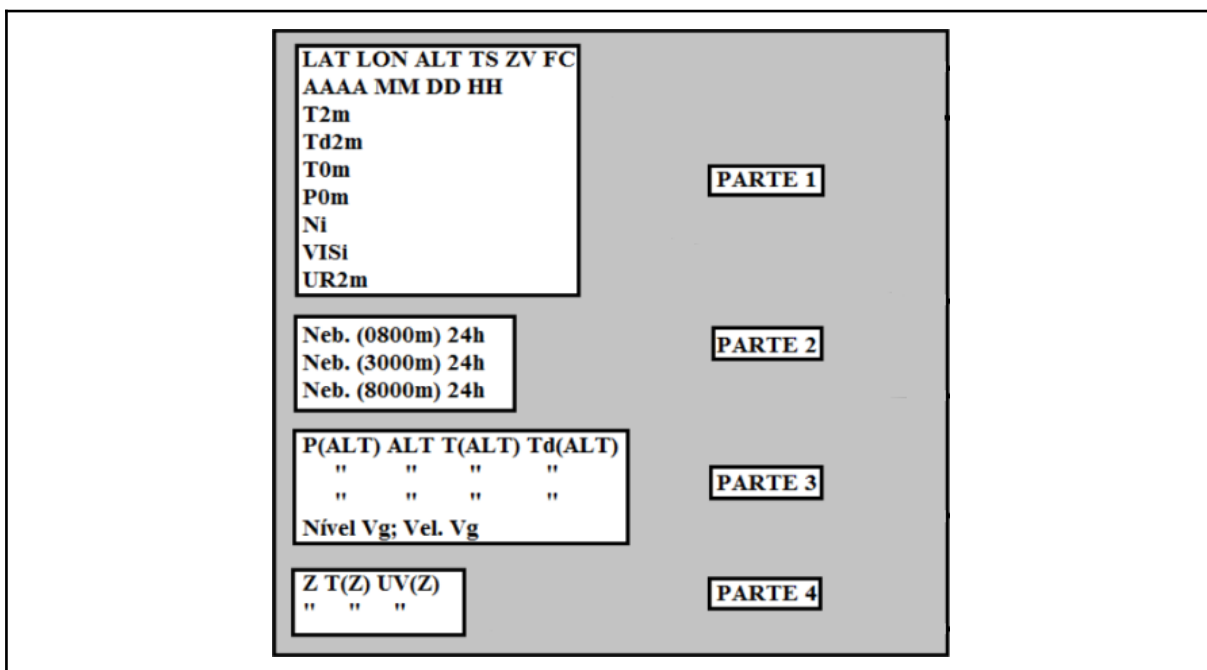


Figura 10: Esquematização do *Script* de entrada do Modelo PAFOG. Fonte: Bott e Trautmann, 2002.

A ferramenta FogVIS v1.0 foi criada no Laboratório de Meteorologia Física e Sinótica do ICAT - UFAL por João Pedro Nobre Gonçalves et al., em 2019 e 2020. Apresenta cálculos de visibilidade horizontal com 24h de antecedência, como sugere o autor do software. Ainda precisa ser verificado em mais eventos com diferentes condições atmosféricas a fim de comprovar sua eficácia no NEB.

Os resultados do FogVIS mostram também o Fog SI (FSI), índice de estabilidade de nevoeiro (Fog Stability Index). Este índice foi desenvolvido pelo US Air Weather Service em 1979, e aprimorado por Holtslag et al. (2010). Os valores calculados indicam se a probabilidade de ocorrência de nevoeiro ou névoa pode ser baixa ( $FSI > 55$ ), moderada ( $31 \leq FSI \leq 55$ ) ou alta ( $FSI < 31$ ).

## 4 - METODOLOGIA

### 4.1 - Regiões e Período de Análise

O estudo e análise dos eventos de nevoeiro abrange a região do nordeste brasileiro (Figura 11A). A análise foi elaborada para um período de 13 anos entre 2008 e 2020 para a análise nos aeroportos de Maceió - AL, Recife - PE e Campina Grande - PB (Figura 11B). Trabalhos sobre nevoeiro e visibilidade baixa no NEB já foram realizados anteriormente pelo próprio laboratório de meteorologia física e sinótica, mas com métodos e modelos diferentes e em período de estudos entre 2003 e 2009.

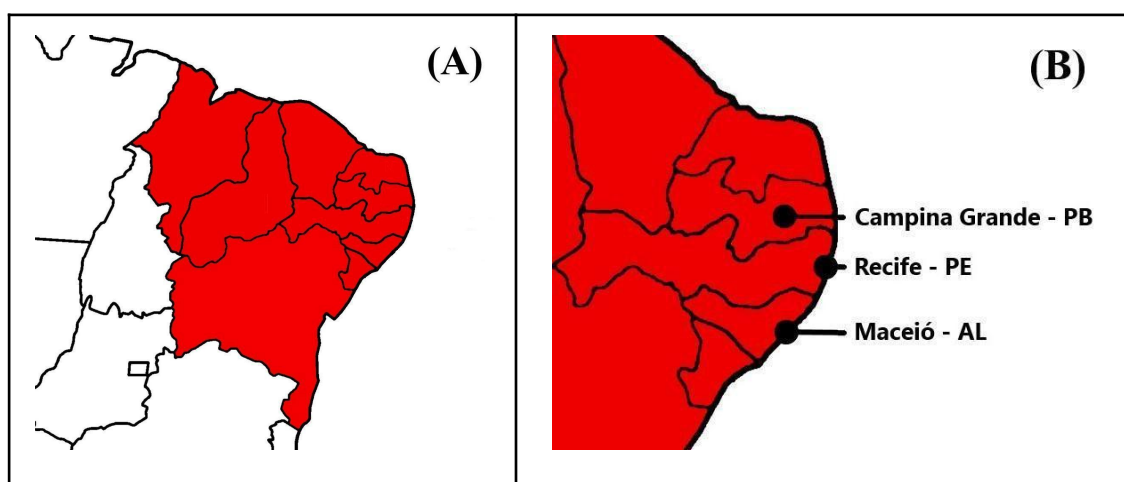


Figura 11. Área do estudo dos sistemas sinóticos (A) e cidades para estudo de nevoeiro (B). Fonte: Mapa do IBGE, plotado no software QGIS.

### 4.2 - Eventos de Nevoeiros Para os Aeroportos do NEB

Foi elaborada uma tabela com os eventos de nevoeiros ocorridos nos Aeroportos: a) Zumbi dos Palmares, Maceió - SBMO; b) Guararapes - Gilberto Freyre, Recife - SBRF; e c) Presidente João Suassuna, Campina Grande - SBKG.

Os dados foram obtidos através do Código METAR (METeorological Aerodrome Report) e coletados pelo API da REDEMET (<https://api-redemet.decea.gov.br/aerodromos>). Tais códigos contêm informações de: a) pressão (hPa); b) velocidade do vento (nós); c) umidade relativa (%); d) temperatura do ar e do ponto de orvalho (°C) para a superfície, em todos os dias e horários que ocorreu nevoeiro.

De acordo com a metodologia do ICEA, o nevoeiro deve ser contínuo. Caso ele se desfaça, o próximo evento é considerado um novo caso.

#### **4.3 - Dados de Reanálise e Software GrADS**

Os arquivos de dados contendo variáveis meteorológicas foram extraídos do modelo de Reanalysis ERA5 - ECMWF (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form>) com a resolução de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  para a confecção de campos meteorológicos sinóticos e termodinâmicos utilizando o software de ferramenta gráfica Grid Analysis and Display System (GrADS) (<http://opengrads.org/>).

Foram utilizados todos os níveis de pressão padrão (1000, 950, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400 e 300 hPa), para todos os dias e horários de registro dos fenômenos responsáveis pela redução da visibilidade horizontal nos aeroportos escolhidos, objetivando averiguar a estrutura da troposfera e os principais sistemas sinóticos responsáveis pela sua formação sobre os aeroportos.

Os componentes zonais (u, em m/s) e meridional (v, em m/s) do vento foram utilizados para elaboração dos campos de linha de corrente. Essas mesmas variáveis também foram utilizadas junto de temperatura do ar (t, em K) e umidade relativa (r, em %) para elaborar os perfis verticais no Diagrama Termodinâmico (Skew-T), objetivando averiguar os processos termodinâmicos da formação de nevoeiro e névoa úmida

#### **4.4 - Imagens de Satélite**

Foram coletadas na plataforma do CPTEC - INPE (<http://satellite.cptec.inpe.br/home/index.jsp>), as imagens dos satélites GOES e METEOSAT nos canais Infravermelho e Vapor d'Água Realçado (a depender da disponibilidade) para auxiliar a identificação da nebulosidade e dos sistemas de escala sinótica vinculados a formação de nevoeiros nos aeroportos.

É necessário identificar as condições atmosféricas para averiguar se a formação dos nevoeiros foi de radiação ou de advecção, com o propósito de atestar a aplicabilidade do modelo PAFOG.

#### **4.5 - Modelo PAFOG**

O modelo PAFOG (PARAMeterized FOG) foi desenvolvido e fornecido pelo Prof. Dr. Andreas Bott através de um Convênio Internacional com a Universidade de Bonn, Alemanha. Este modelo foi criado para fazer a previsão de nevoeiros de radiação e nuvens estratiformes da região extratropical e precisa de ajustes para sua melhor funcionalidade no NEB.

No script de entrada e parâmetros base do PAFOG são inseridas: a) coordenadas geográficas; b) dados de superfície da estação meteorológica; c) tipo de solo e vegetação; d) temperatura e umidade do solo; e) nebulosidade; f) umidade, temperatura do ar e do ponto de orvalho para os níveis de pressão padrões. O modelo foi pré-configurado com a altura máxima de nevoeiro para 400 m, típico para a região extratropical.

#### **4.6 Software FogVIS**

A ferramenta FogVIS v1.0 foi criada no Laboratório de Meteorologia Física e Sinótica do ICAT - UFAL e foi avaliada em poucos casos para calcular a previsão da visibilidade horizontal com 24h de antecedência, como sugere o autor do software. Por isso precisa ser verificado em um número maior de eventos a fim de comprovar sua eficácia nas diversas condições atmosféricas do NEB.

Os resultados do FogVIS mostram também o Fog SI (FSI), índice de estabilidade de nevoeiro (Fog Stability Index). O FSI foi desenvolvido pelo US Air Weather Service em 1979, e aprimorado por Holtslag et al. (2010). Baseia-se no perfil termodinâmico da atmosfera para avaliar a probabilidade de ocorrência de nevoeiro ou névoa (João Pedro Nobre Gonçalves et al., 2020). Para identificação de intensidade de nevoeiro são utilizados os seguintes valores do FSI: baixa ( $FSI > 55$ ), moderada ( $31 \leq FSI \leq 55$ ) e alta ( $FSI < 31$ ).

A Figura 12, a seguir, exibe a interface do FogVIS. Para calcular a visibilidade horizontal e o Fog SI, primeiro: a) são inseridos as coordenadas geográficas dos aeroportos estudados: Maceió, Recife e Campina Grande; e então: b) são inseridos os dados de: I) temperatura ar e do ponto de orvalho da superfície obtidos pelo código METAR da estação do aeroporto em questão; II) temperatura do ar e velocidade do vento em 850 hPa, obtidos em dados de reanálise do ERA5 - ECMWF; III) e LWC (Liquid Water Content - Conteúdo de Água Líquida) para nevoeiro calculado pelo PAFOG com os dados do código METAR.

The screenshot shows the FogVIS v1.0 application window. It has three tabs: 'Introdução', 'Localização', and 'Modelo'. The 'Modelo' tab is active. The interface features a background image of a foggy landscape. Input fields are arranged as follows: 'Ts (Celsius):' with value '23.99', 'Tds (Celsius):' with value '22.23', 'T850hPa (Celsius):' with value '15.6', 'W850 (nós):' with value '6.181425', 'LWC (g/m^3):' with value '0.0416529'. Below these are two buttons: 'Gerar' (highlighted with a blue border) and 'Limpar'. At the bottom, output fields show 'FOGSI:' with value '32.66285' and 'Visibilidade (m):' with value '704.8048827149'.

| Variable                | Value          |
|-------------------------|----------------|
| Ts (Celsius)            | 23.99          |
| Tds (Celsius)           | 22.23          |
| T850hPa (Celsius)       | 15.6           |
| W850 (nós)              | 6.181425       |
| LWC (g/m <sup>3</sup> ) | 0.0416529      |
| FOGSI                   | 32.66285       |
| Visibilidade (m)        | 704.8048827149 |

Figura 12: Resultado do cálculo para visibilidade horizontal Maceió - 07/06/2018. Fonte: FogVIS v1.0.

Os resultados do modelo PAFOG e da ferramenta FogVIS v1.0 no NEB serão comparados com o real observado e registrado pelo código METAR para aprimorar os métodos de previsão de nevoeiros quando seus processos físicos estão relacionados aos fenômenos adversos extremos.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

No total foram registrados nos três aeroportos estudados 218 eventos de nevoeiro durante 13 anos analisados. Sendo 32 em Maceió, apenas um caso em Recife e 185 em Campina Grande (Apêndice 1). Importante destacar que Maceió e Recife são cidades litorâneas e o aeroporto está respectivamente 108 e 12 metros acima da superfície do mar. Enquanto Campina Grande está a 502 metros de altitude.

### 5.1 - MACEIÓ - AL: AEROPORTO INTERNACIONAL ZUMBI DOS PALMARES

#### 5.1.1 - *Análise Geral dos Casos de Maceió - AL (SBMO) Entre 2008 e 2020:*

Foram registrados no total 32 casos de nevoeiro pelo código METAR. O ano com maior ocorrência foi 2008, com 9 casos. Junho foi o mês com maior média de casos. Os anos de 2013 e 2015 não registraram nevoeiro. Os meses de outubro, novembro, dezembro, fevereiro e abril, não registraram nevoeiros no período de estudo.

Os nevoeiros de Maceió foram curtos, o mais longo durou 4 horas. Todos os eventos foram moderados-fraco, apenas três registraram visibilidade horizontal abaixo de 100m. Todos ocorreram na madrugada ou na manhã. O céu estava constituído de nuvens na maioria dos casos

#### 5.1.2 - *Casos Seleccionados:*

Na tabela 1 estão exibidos os casos escolhidos para análise detalhada dos nevoeiros que ocorreram no aeroporto de Maceió - Zumbi dos Palmares. Obtidos através do código METAR localizados pelo código ICAO de SBMO. Duração média de 1h30, mínima de 40 min e máxima atingiu 2h35. T e Td variaram entre 20 e 23°C.

| Data       | Hora (UTC) | Duração (h) | Visib. (m) | Intensidade | Temp. do Ar / P. de Orv. (°C) |
|------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------------------------|
| 11/06/2010 | 4:20       | 3:40        | 200        | Moderado    | 20 / 20                       |
| 07/03/2012 | 8:28       | 2:32        | 0          | Intenso     | 23 / 23                       |
| 07/06/2018 | 4:25       | 2:35        | 500        | Moderado    | 22 / 21                       |
| 07/06/2018 | 9:00       | 1:00        | 500        | Moderado    | 21 / 21                       |

Tabela 1: Casos de Maceió - AL seleccionados para análises detalhadas. Fonte: Código METAR.

Maceió - 11/06/2010 às 04 UTC

É possível observar que as temperaturas do ar e do ponto de orvalho oscilam entre 20 e 21°C no momento que ocorre o nevoeiro, entre às 04 e 07h UTC (Figura 13). Névoa úmida foi registrada antes e depois do evento que durou 4 horas.

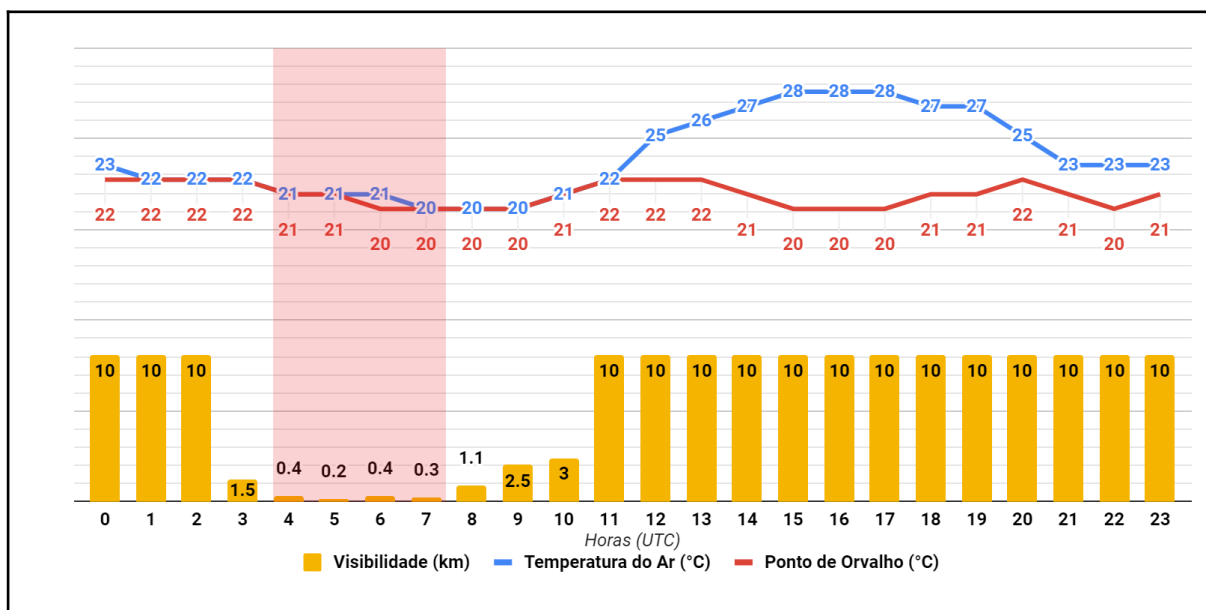


Figura 13. Gráfico de visibilidade horizontal (km), temperatura do ar (°C) e ponto de orvalho (°C) para o dia 11/06/2010. A barra vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: Código METAR

Maceió - 07/03/2012 às 08 UTC

O gráfico (Figura 14) mostra que as temperaturas do ar e do ponto de orvalho permanecem iguais desde as 02h UTC até às 10h UTC. A visibilidade horizontal começou a diminuir antes do momento do evento. Após a dissipação do nevoeiro, a visibilidade horizontal aumenta rapidamente e as temperaturas se distanciam bastante. O evento durou 3 horas. Não foram registrados outros fenômenos adversos para este dia.

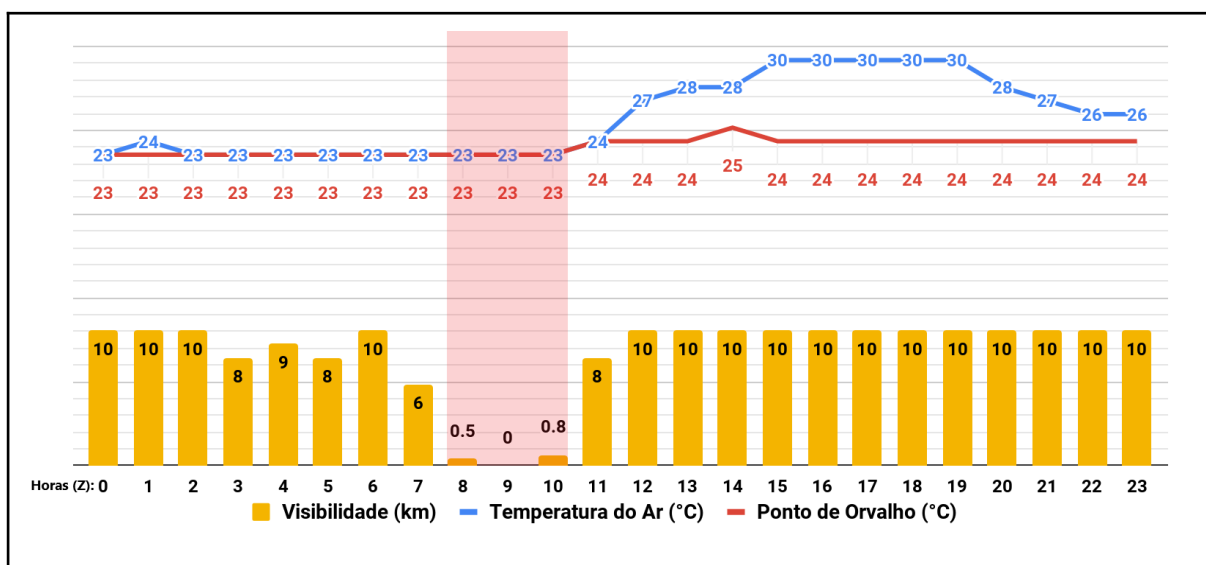


Figura 14. Gráfico de visibilidade horizontal (km), temperatura do ar (°C) e ponto de orvalho (°C) para o dia 07/03/2012. A barra vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: Código METAR.

*Maceió - 07/06/2018 às 05 e às 09 UTC*

Foi escolhido para análise sinótica, termodinâmica e por satélite o dia 07/06/2018, pois houveram dois casos no mesmo dia, o primeiro durou duas horas e o segundo apenas uma hora.

A Figura 15 mostra que as temperaturas do ar e do ponto de orvalho permanecem iguais durante os dois casos, a velocidade do vento estava fraca em torno de 6 km/h. A visibilidade horizontal permaneceu baixa após o primeiro caso até duas horas depois do segundo. Foram registrados outros fenômenos adversos para este dia: névoa úmida entre os dois casos de nevoeiro e após o segundo também houve chuva fraca.

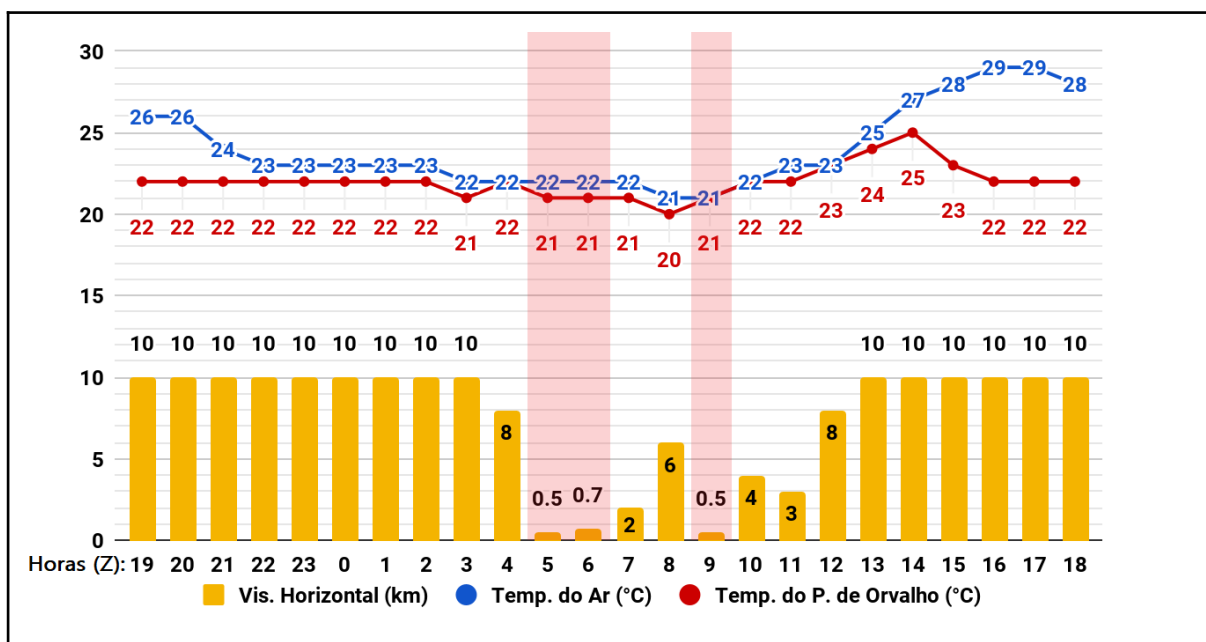


Figura 15. Gráfico de visibilidade horizontal (km), temperatura do ar (°C) e ponto de orvalho (°C) para o dia 07/06/2018. As barras vermelhas indicam os momentos dos nevoeiros. Fonte: Código METAR.

### 5.1.3 - Análise Sinótica e Imagens de Satélites:

*Maceió - 11/06/2010 às 04 UTC*

Na superfície, um cavado em 1000 hPa (Figura 15A) transporta o ar frio sobre a superfície quente, o que proporciona condições favoráveis à possível formação do nevoeiro. Observa-se que há nebulosidade nos arredores do local de estudo (Figura 15B), mas não são nuvens de crescimento convectivo profundo.

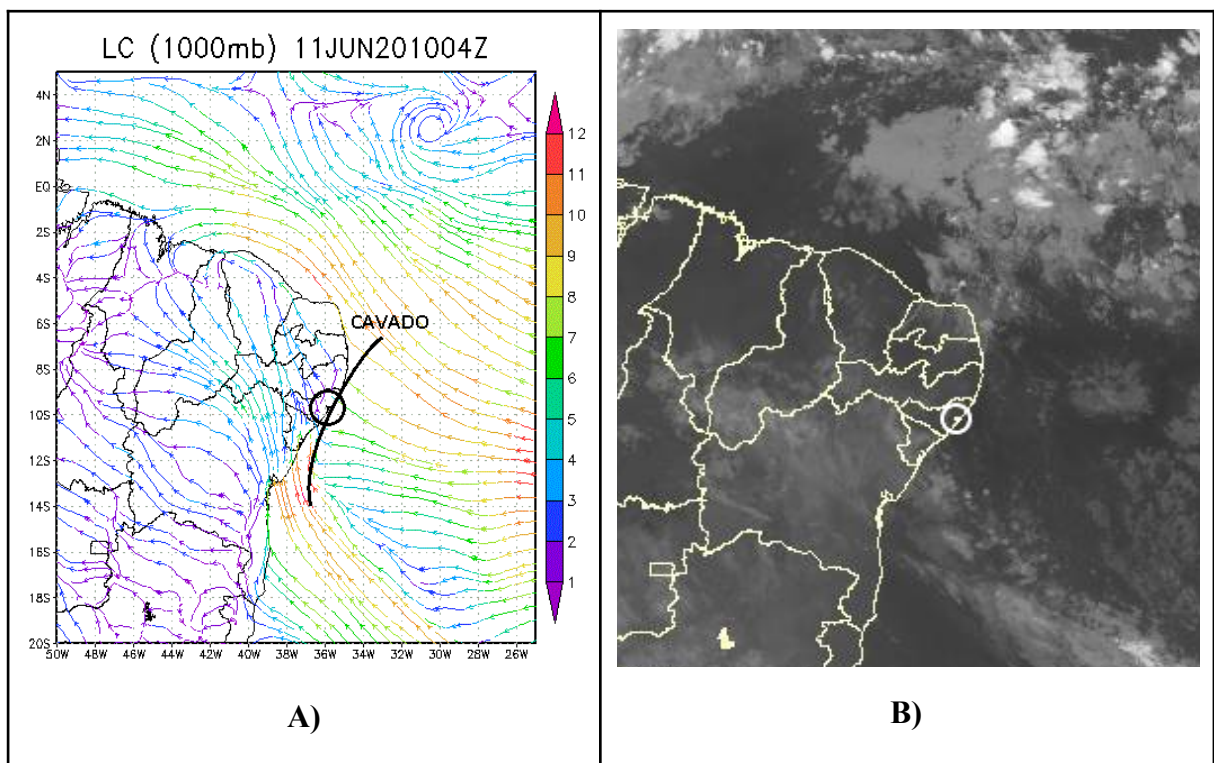


Figura 15: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 11/06/2010 às 04 UTC, círculos nos mapas indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

*Maceió - 07/03/2012 às 08 UTC*

Na superfície (Figura 16A) a região está sendo influenciada por um cavado vindo nas correntes de leste com um movimento ciclônico muito acentuado ao entrar no continente. Este cavado é proveniente de uma Perturbação Ondulatória nos Alísios (POA). Esta POA atingiu baixos níveis em 1000 hPa, mas a circulação ciclônica enfraqueceu. No canal infravermelho (Figura 16B) há a existência de nebulosidade convectiva, é mostrado que são nuvens de topo frio no local, e com bastante umidade na região de estudo.

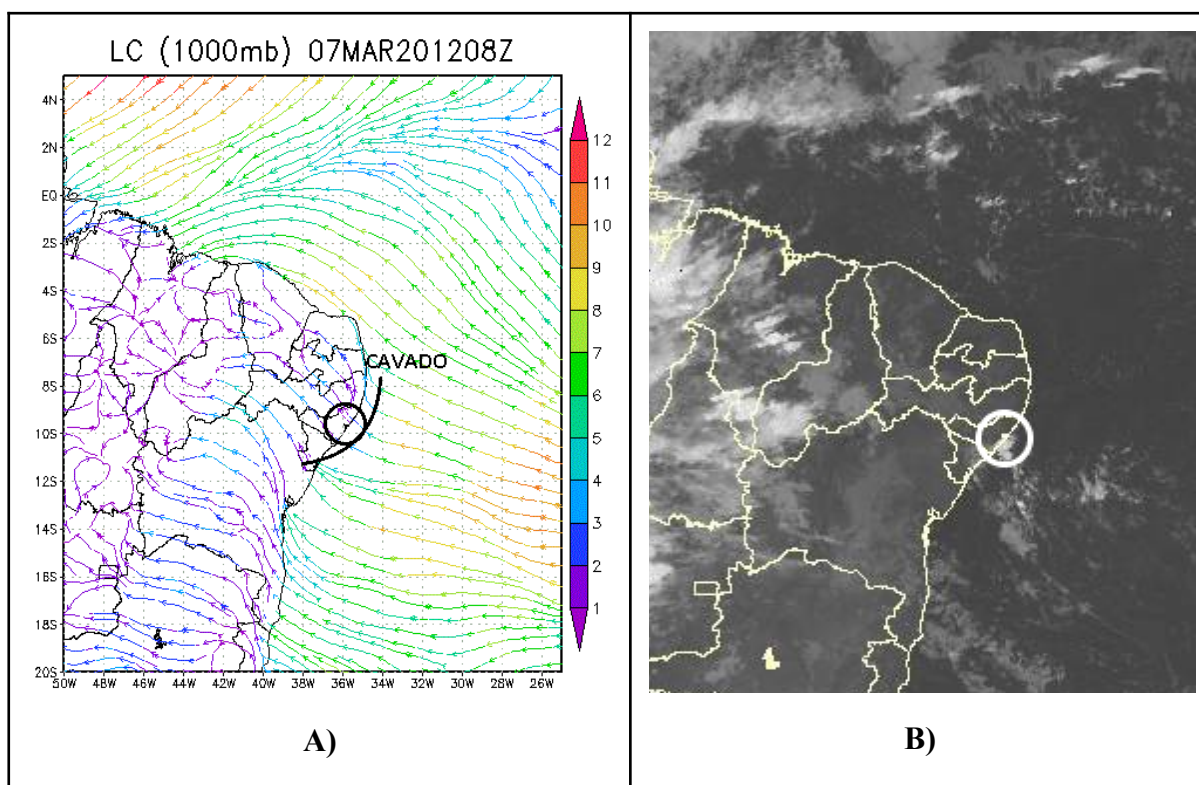


Figura 16: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 07/03/2012 às 08 UTC, círculos nos mapas indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

*Maceió - 07/06/2018 às 05 UTC*

Na superfície (Figura 18A) observa-se fortes ventos de leste que perdem força e mudam de direção na costa, escoando para noroeste. Havia também um cavado em 1000 hPa sobre a costa. As imagens de satélite caracterizam movimentos anti-ciclônicos em médios níveis. No canal infravermelho (Figura 18B) observa-se que havia nebulosidade cumuliforme sobre o local. No entanto, não havia tanta umidade na costa leste, apenas mais a norte.

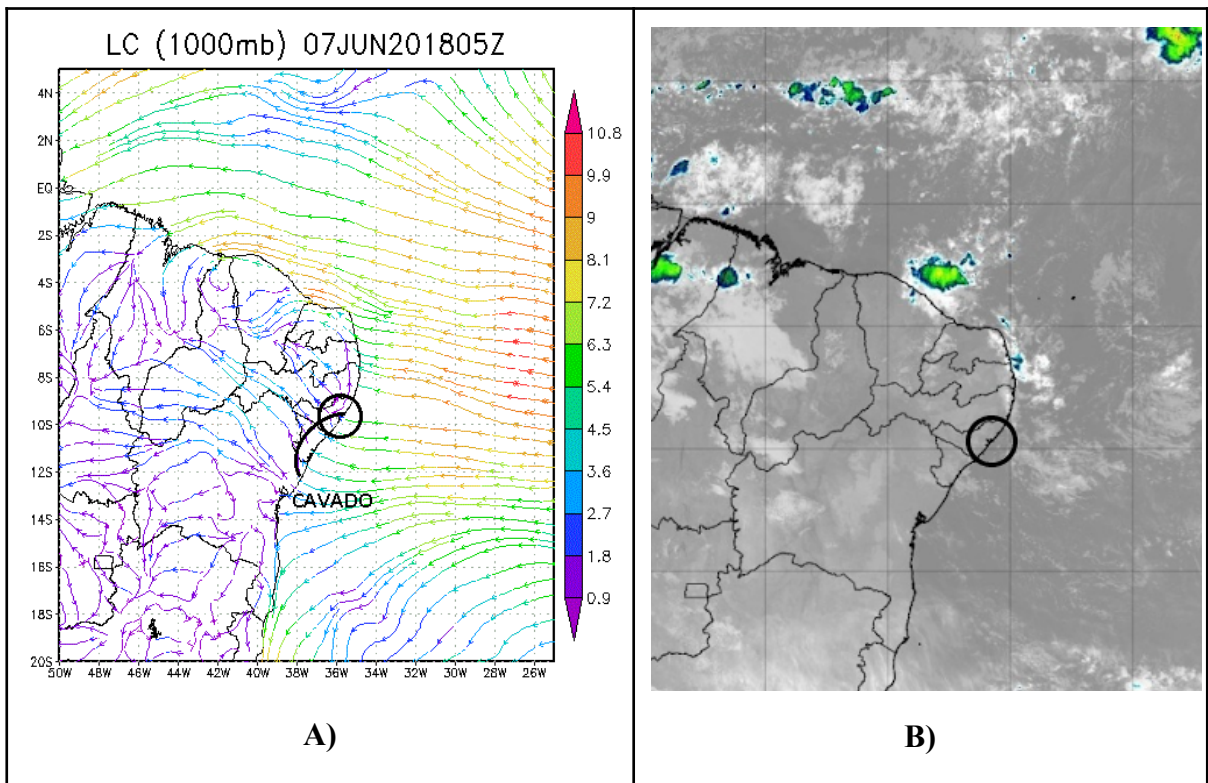


Figura 18: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 07/06/2018 às 05 UTC, círculos nos mapas indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

*Maceió - 07/06/2018 às 09 UTC*

Na superfície (Figura 19A) há um escoamento dos ventos, que tem sido gerado por alguma elevação na orografia. Havia também um cavado em 1000 hPa sobre a costa. Observa-se que havia nebulosidade na região de estudo (Figura 19B). Pode-se afirmar que eram nuvens cumuliformes pela aparência granulosa sobre o oceano.

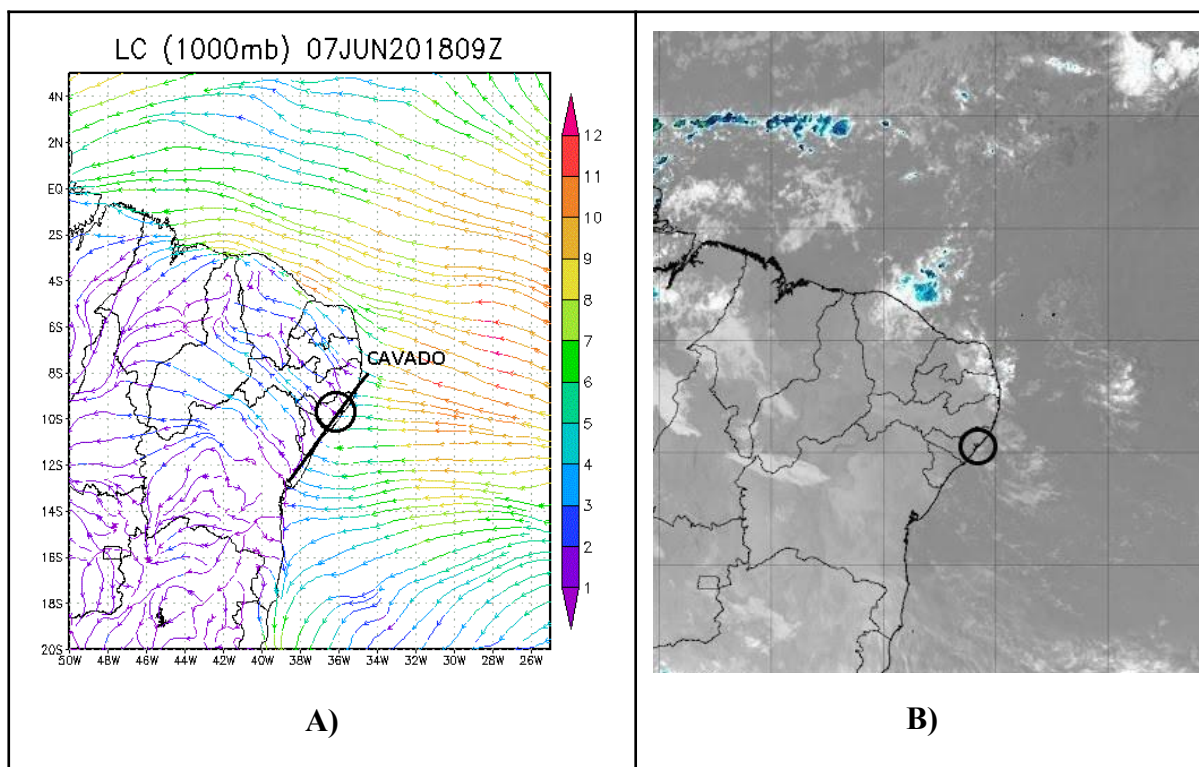


Figura 19: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 07/06/2018 às 09 UTC, círculos nos mapas indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.



Maceió - 07/03/2012 às 08 UTC

Há nebulosidade cumuliforme em toda a atmosfera acima de baixos níveis (900 hPa). É possível ver um nevoeiro muito próximo da superfície (Figura 21). O CAPE está positivo.

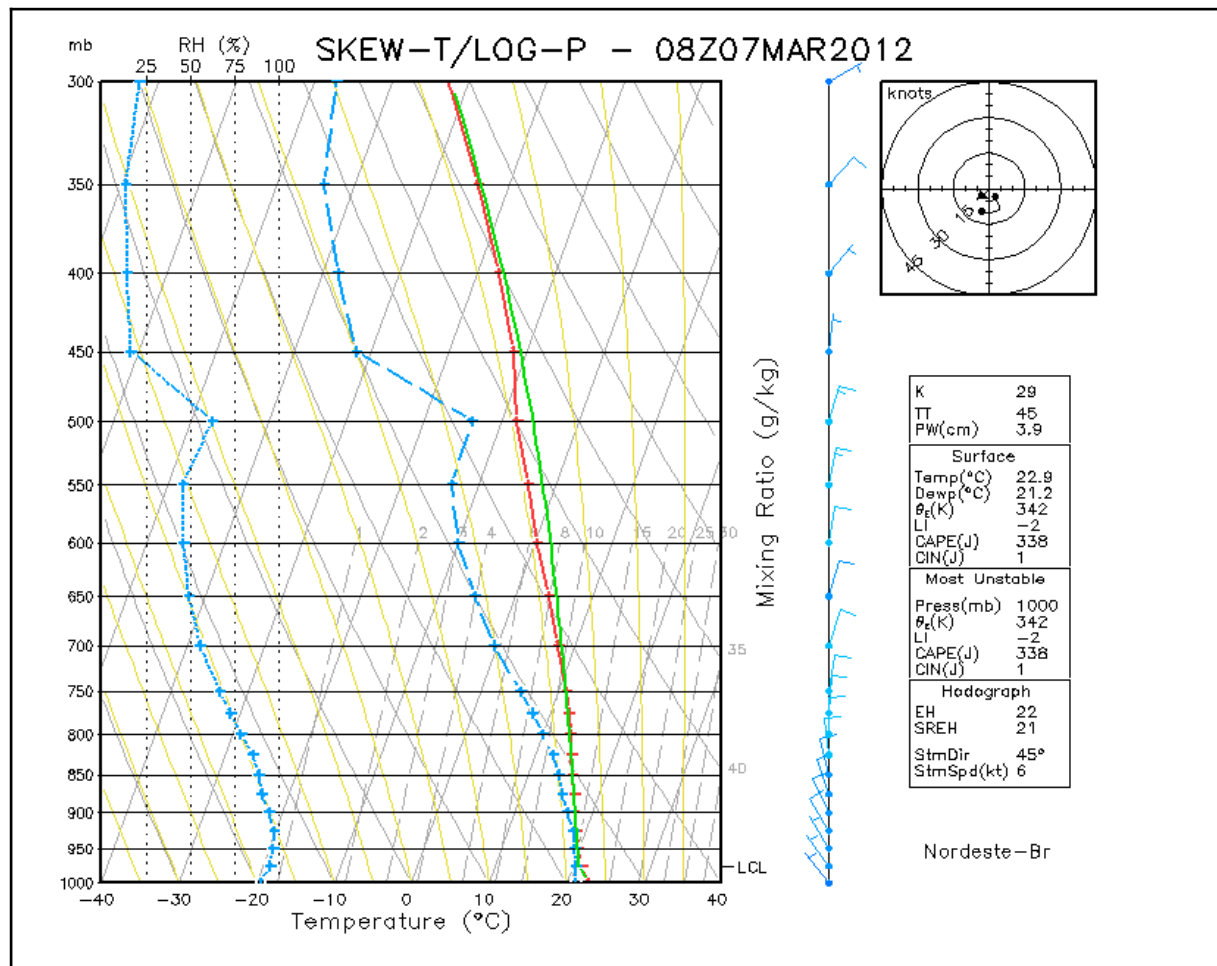


Figura 21: Diagrama termodinâmico para o dia 07/03/2012 às 08 UTC. Fonte: ERA5.

Maceió - 07/06/2018 às 05 UTC

O nevoeiro estava suspenso acima da superfície entre 975 e 925 hPa (Figura 22), devido a camada úmida com temperaturas do ar e do ponto de orvalho iguais. A atmosfera estava estável e seca em médios níveis.

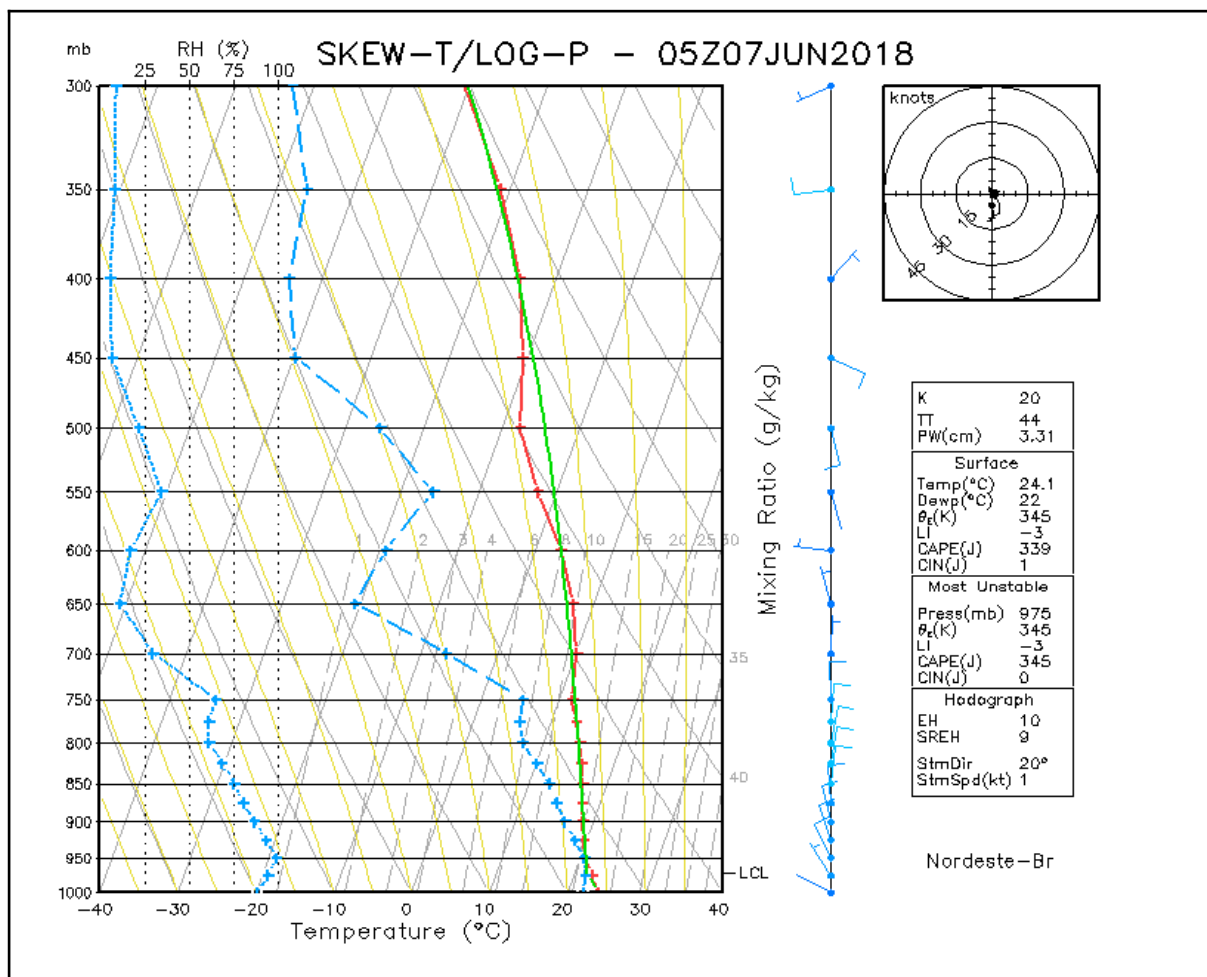


Figura 22: Diagrama termodinâmico para o dia 07/06/2018 às 05 UTC. Fonte: ERA5.

Maceió - 07/06/2018 às 09 UTC

O novo nevoeiro está mais intenso do que o anterior. Compreende uma camada maior, entre os níveis 975 e 825 hPa (Figura 23). Não há mudanças significativas na atmosfera em médios níveis, continua estável e seca.

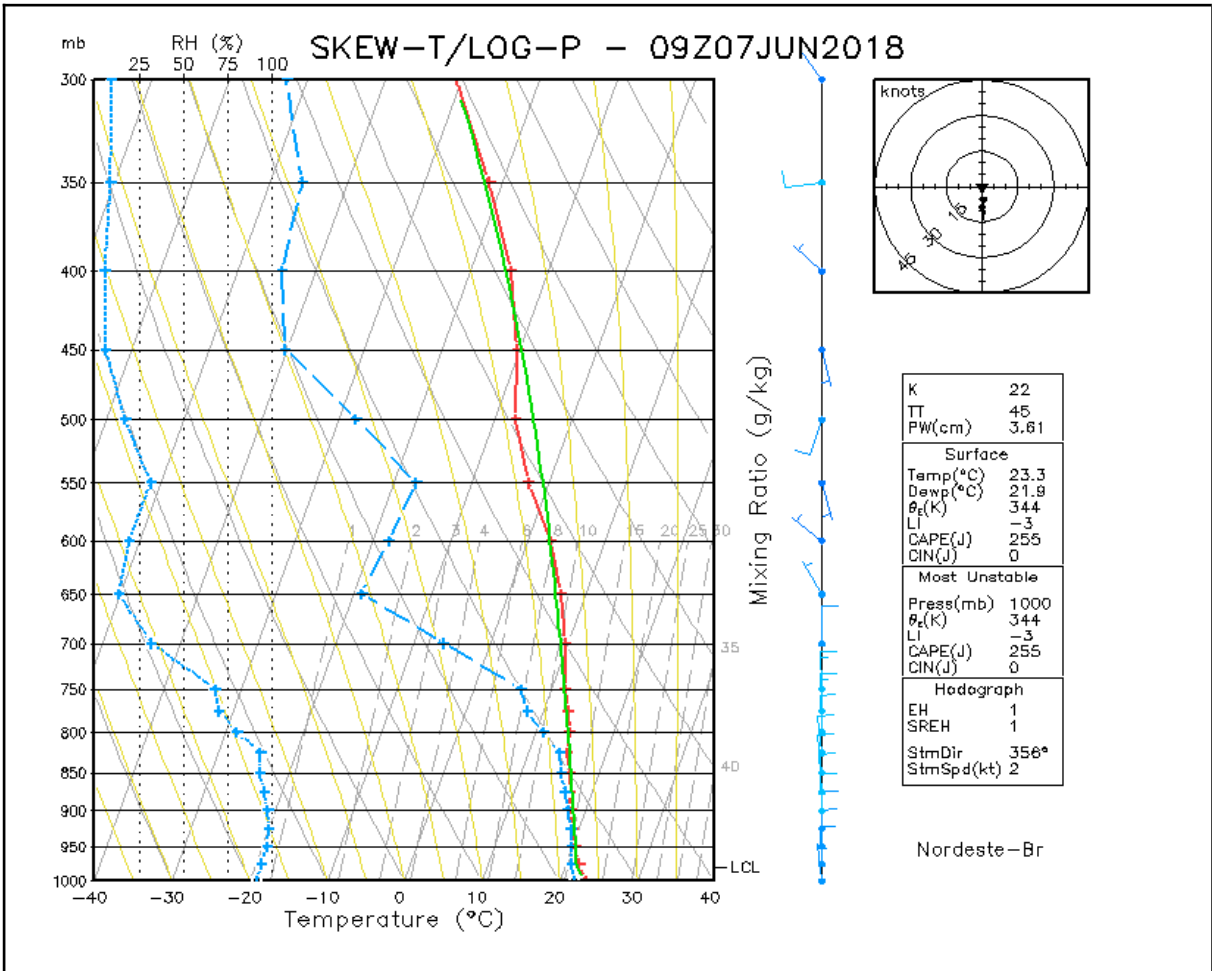


Figura 23: Diagrama termodinâmico para o dia 07/06/2018 às 09 UTC. Fonte: ERA5.

## 5.2 - RECIFE - PE: AEROPORTO INTERNACIONAL GILBERTO FREYRE, SBRF (2008 - 2020)

### 5.2.1 - Análise do Único Caso:

Apenas um caso foi registrado em Recife no período de estudo pelo código METAR. Este ocorreu em 18/08/2013, com intensidade fraca. Foi registrado chuva fraca antes e durante o evento, havia nebulosidade nas redondezas.

*Recife - 18/08/2013 às 15 UTC:*

O gráfico (Figura 24) mostra que a temperatura do ar e do ponto de orvalho estavam próximas antes do nevoeiro, em torno de 21 e 22°C. A visibilidade horizontal diminui às 09h UTC, mas não abaixo de 1000m. Então às 15h UTC, no momento do nevoeiro, reduz para 700m. O evento durou uma hora.

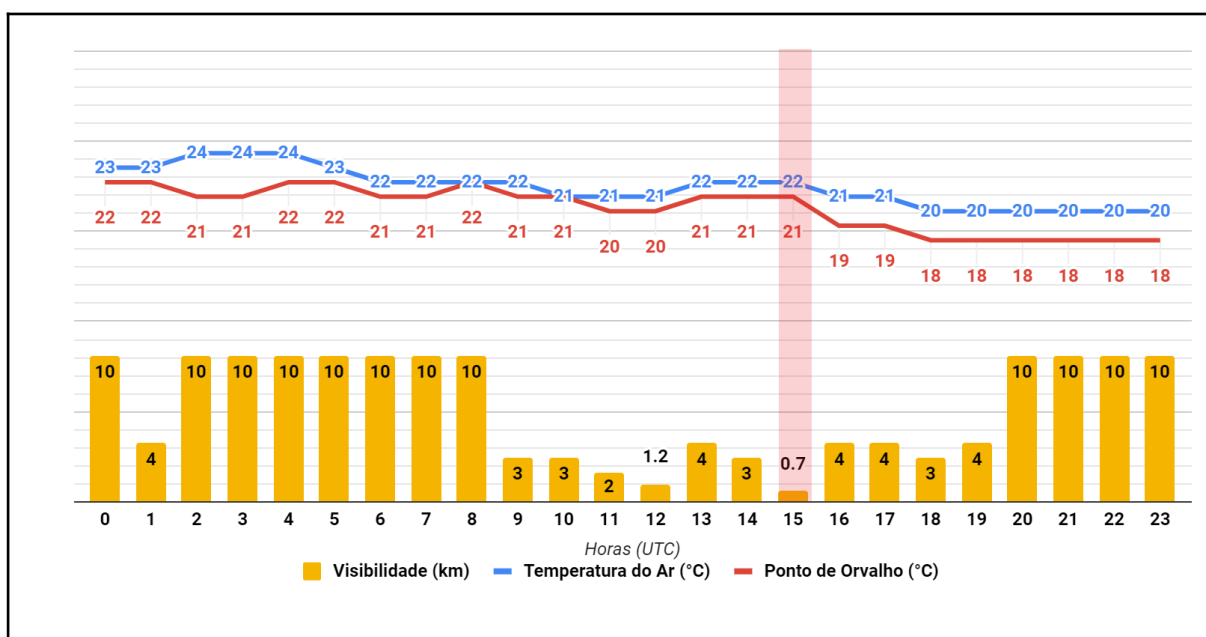


Figura 24. Gráfico de visibilidade horizontal (m), temperatura do ar (°C) e ponto de orvalho (°C) para a cidade de Recife no dia 18/08/2013. A barra vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: METAR

### 5.2.2 - Análise Sinótica e Imagens de Satélites:

Recife - 18/08/2013 às 15 UTC:

Na superfície (Figura 25A) a região está sendo influenciada por um cavado que se torna menos intenso ao chegar no continente, condicionando um nevoeiro. Pelo canal infravermelho (Figura 25B) é possível observar que não existe nenhum sistema frontal influenciando a região. Há bastante nebulosidade de topo quente sobre a região de estudo.

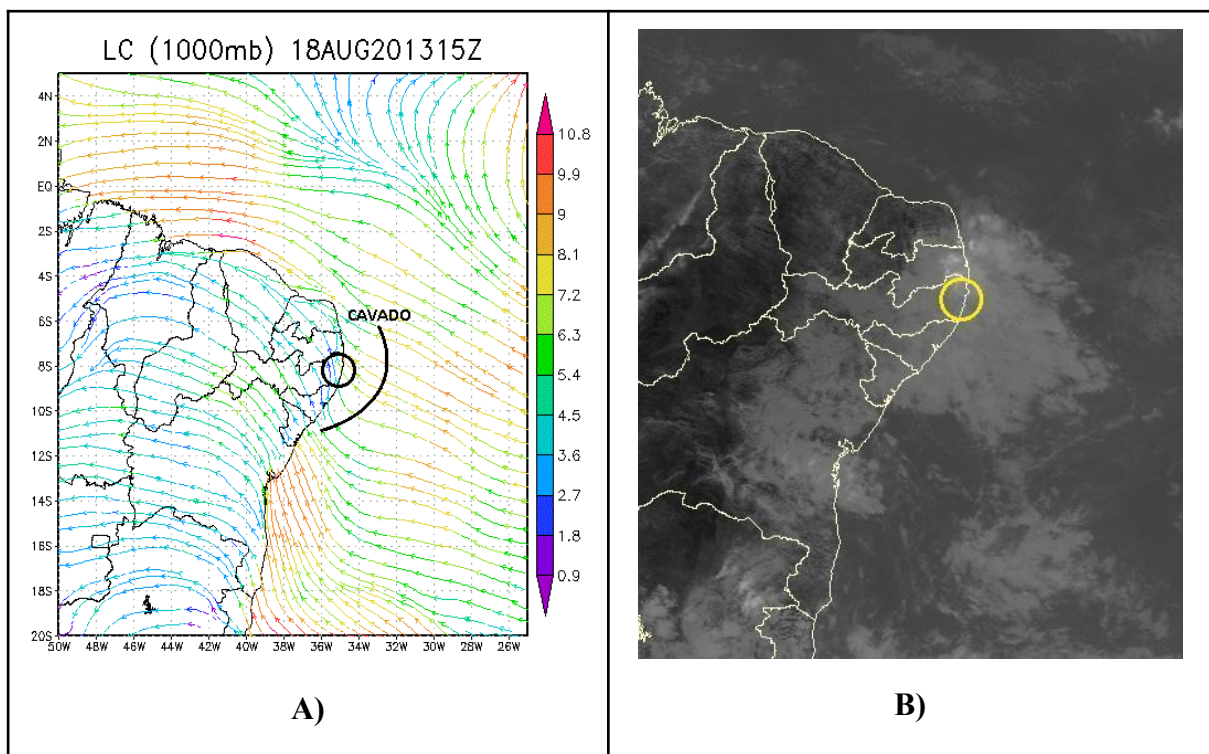


Figura 25: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite no canal infravermelho (B) para o caso de Recife, círculos no mapa indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.



### **5.3 - CAMPINA GRANDE - PB: AEROPORTO PRESIDENTE JOÃO SUASSUNA, SBKG (2008 - 2020)**

#### **5.3.1 - Análise geral dos casos de Campina Grande - PB:**

Foram registrados no total 185 casos de nevoeiro pelo código METAR. A maior parte deles ocorreu entre maio e julho, correspondentes às estações de outono e inverno. No nordeste, este é o período chuvoso. As maiores ocorrências foram em 2013 e 2018. O ano de 2010 obteve apenas um caso registrado. Os casos alcançaram máximo desenvolvimento imediatamente, mas tiveram curto tempo de duração.

#### **5.3.2 - Casos Selecionados:**

O código METAR registrou 185 casos de nevoeiro no aeroporto de Campina Grande - Presidente João Suassuna. Sendo 32 nevoeiros intensos, 95 moderados e 58 fracos. Duração média de 1h20, mínima de 12 minutos e a duração máxima atingiu 7 horas. Na Tabela 2 estão listados os selecionados para as análises detalhadas.

| <b>Data</b> | <b>Hora (UTC)</b> | <b>Duração (h)</b> | <b>Visib. (m)</b> | <b>Intensidade</b> | <b>Temp. do Ar / P. de Orv. (°C)</b> |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 03/05/2014  | 9:00              | 1:00               | 200               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 21/03/2015  | 3:15              | 3:45               | 200               | Moderado           | 22 / 21                              |
| 26/02/2016  | 3:00              | 3:00               | 50                | Intenso            | 22 / 21                              |
| 02/04/2018  | 3:18              | 1:42               | 500               | Moderado           | 22 / 22                              |
| 22/04/2018  | 23:00             | 1:00               | 100               | Intenso            | 22 / 22                              |
| 02/09/2019  | 4:00              | 3:00               | 200               | Moderado           | 20 / 20                              |

Tabela 2: Casos de Campina Grande - PB selecionados para análises detalhadas. Fonte: Código METAR.

*Campina Grande - 03/05/2014 às 09 UTC*

O evento que durou apenas uma horas registrou também névoa úmida e chuva fraca. Das 06h até às 09h UTC (momento do nevoeiro) a temperatura do ar e o ponto de orvalho eram as mesmas (Figura 27).

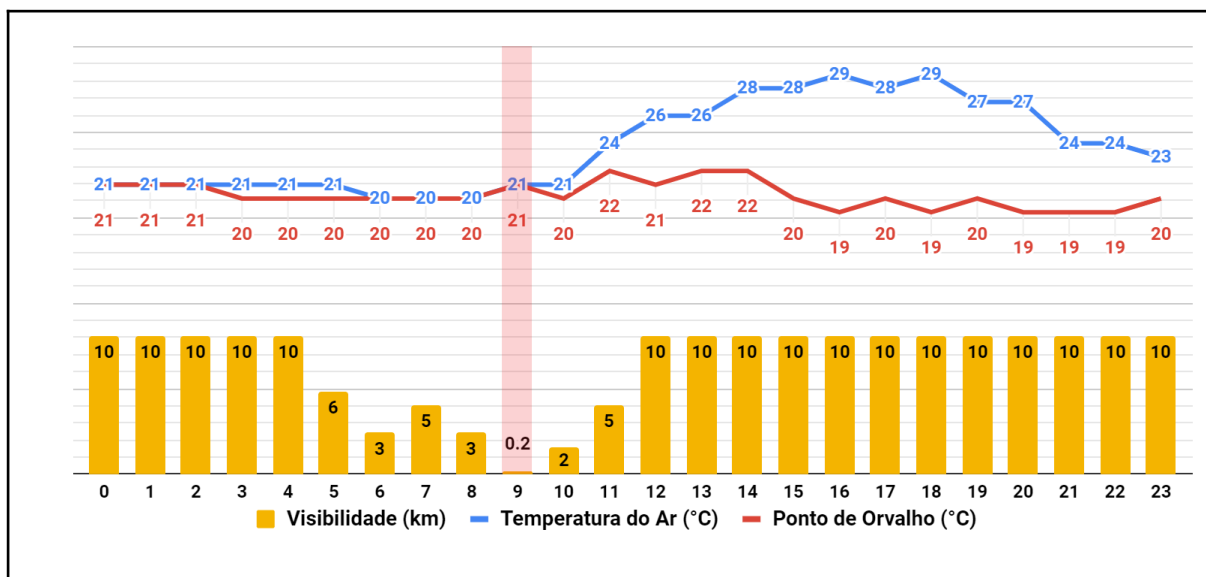


Figura 27: Gráfico de visibilidade horizontal (km), temperatura do ar (°C) e do ponto de orvalho (°C) para o dia 03/05/2014. Faixa vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: Código METAR.

*Campina Grande - 21/03/2015 às 03 UTC*

Neste caso, ocorreu o nevoeiro intenso mais longo registrado no período de estudo (Figura 28). Durou quatro horas com visibilidade horizontal em torno de 50 m. Nenhum outro fenômeno adverso foi registrado antes, durante ou depois do evento.

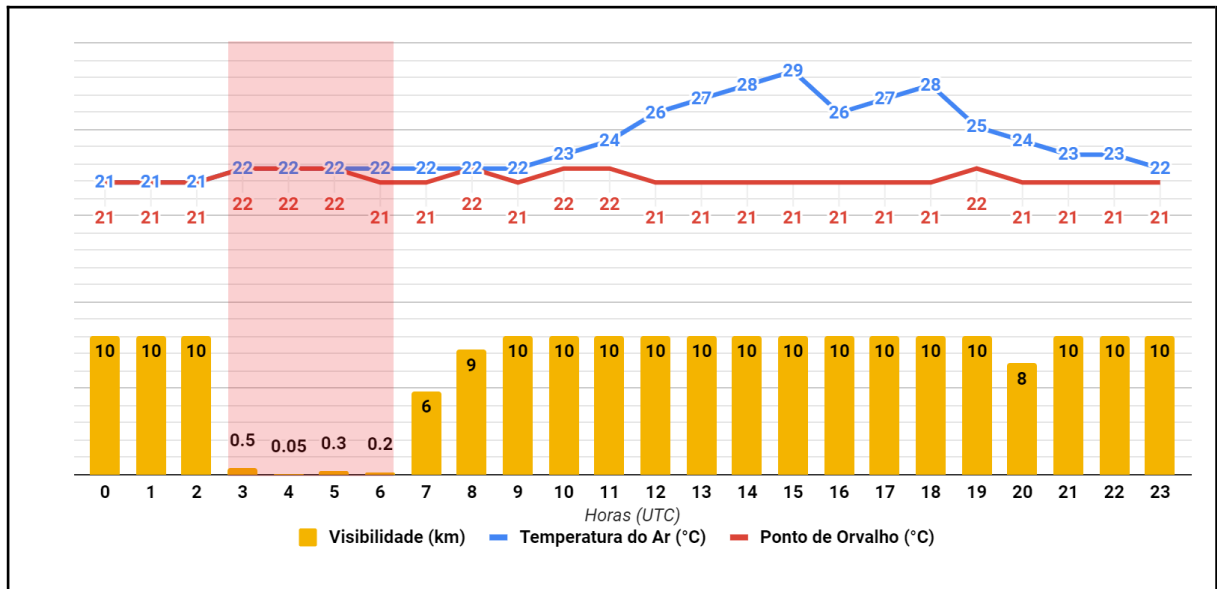


Figura 28: Gráfico de visibilidade horizontal (km), temperatura do ar (°C) e do ponto de orvalho (°C) para o dia 21/03/2015. Faixa vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: Código METAR.

### *Campina Grande - 26/02/2016 às 03 UTC*

O evento durou 3 horas e havia névoa úmida por mais duas horas após a dissipação do nevoeiro. Durante a madrugada (Figura 29), a temperatura do ar e o ponto de orvalho eram as mesmas. A visibilidade horizontal reduziu para menos de 1000m das 03h às 05h UTC. Os dados do código METAR indicaram névoa úmida após o evento.

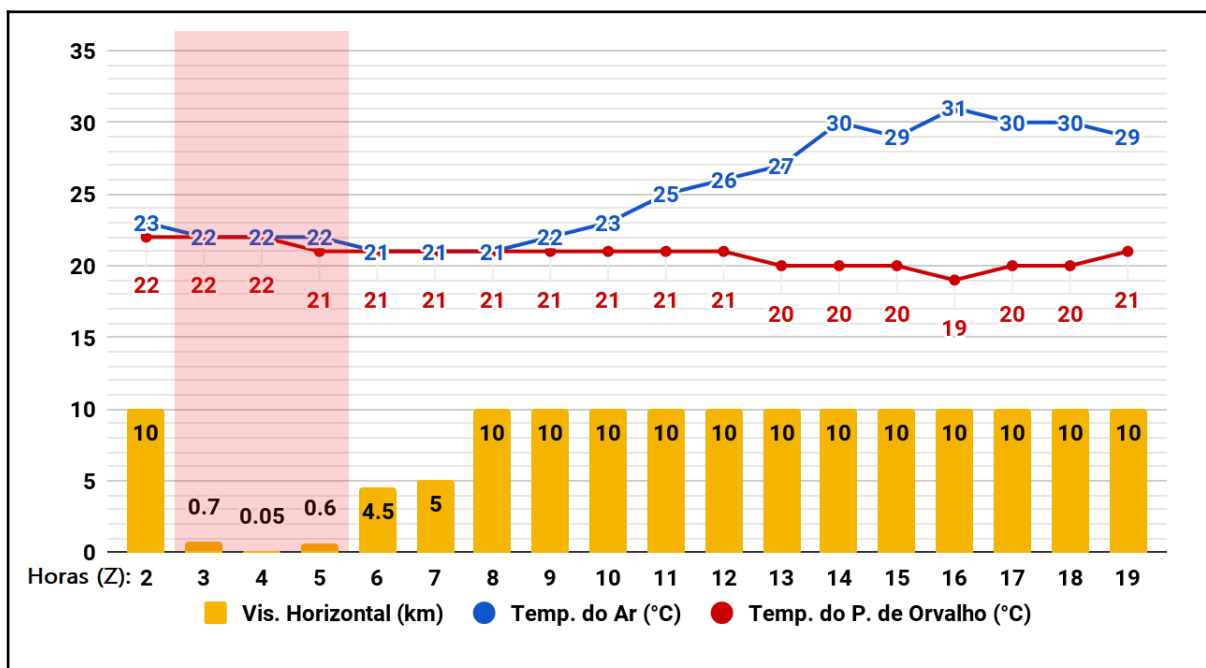


Figura 29: Gráfico de visibilidade horizontal (km), temperatura do ar (°C) e do ponto de orvalho (°C) para o dia 26/02/2016. Faixa vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: Código METAR.

*Campina Grande - 02/04/2018 às 03 UTC*

O código METAR indicou chuva fraca antes do nevoeiro moderado com muita nebulosidade, e névoa úmida após o evento. Na Figura 30 observa-se que o período em que foi entre às 02 e 09 UTC. A velocidade do vento foi enfraquecendo durante o nevoeiro, diminuindo de 12 a 5 km/h.

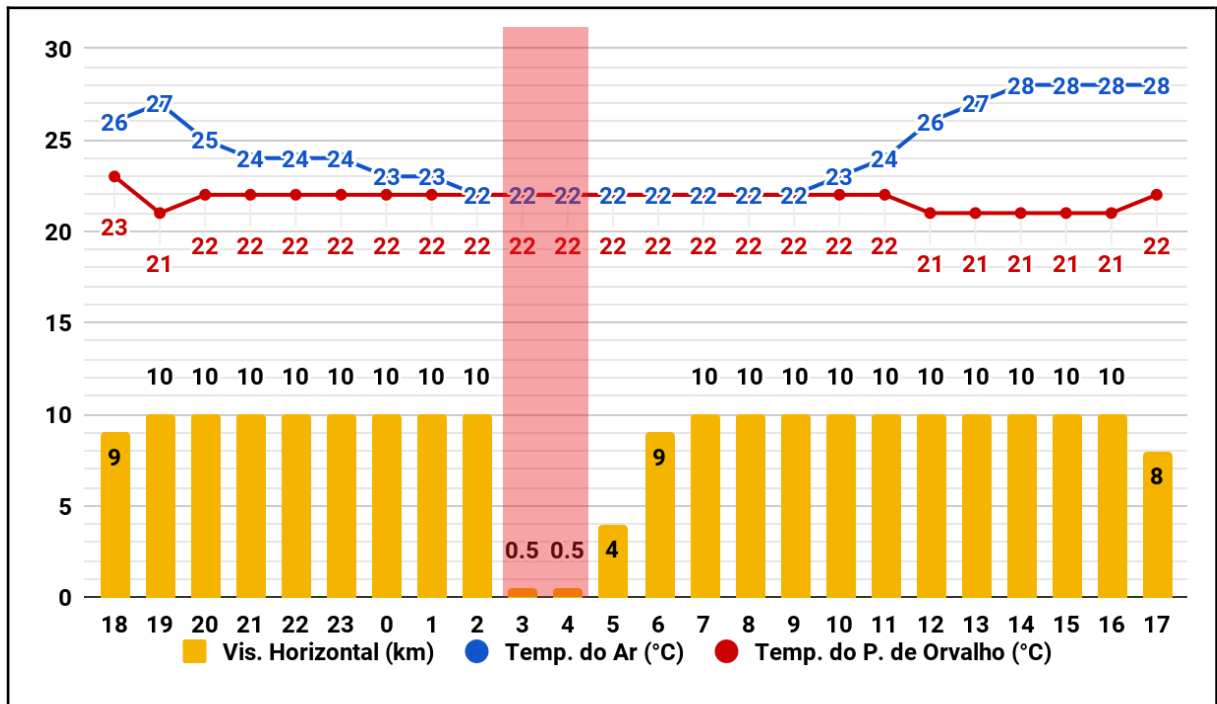


Figura 30: Visibilidade horizontal em km (barras amarelas), T em °C (linha azul) e Td em °C (linha vermelha) para Campina Grande em 01 e 02/04/2018. Faixa vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: METAR.

*Campina Grande - 22/04/2018 às 23 UTC*

O código METAR indicou chuva fraca com névoa úmida antes do nevoeiro intenso. Na Figura 31 observa-se que no período das 21h até às 05h UTC as temperaturas do ar e do ponto de orvalho eram as mesmas. A velocidade do vento foi enfraquecendo durante o nevoeiro, diminuindo de 11 para 7 km/h, e logo após subiu para 14 km/h.

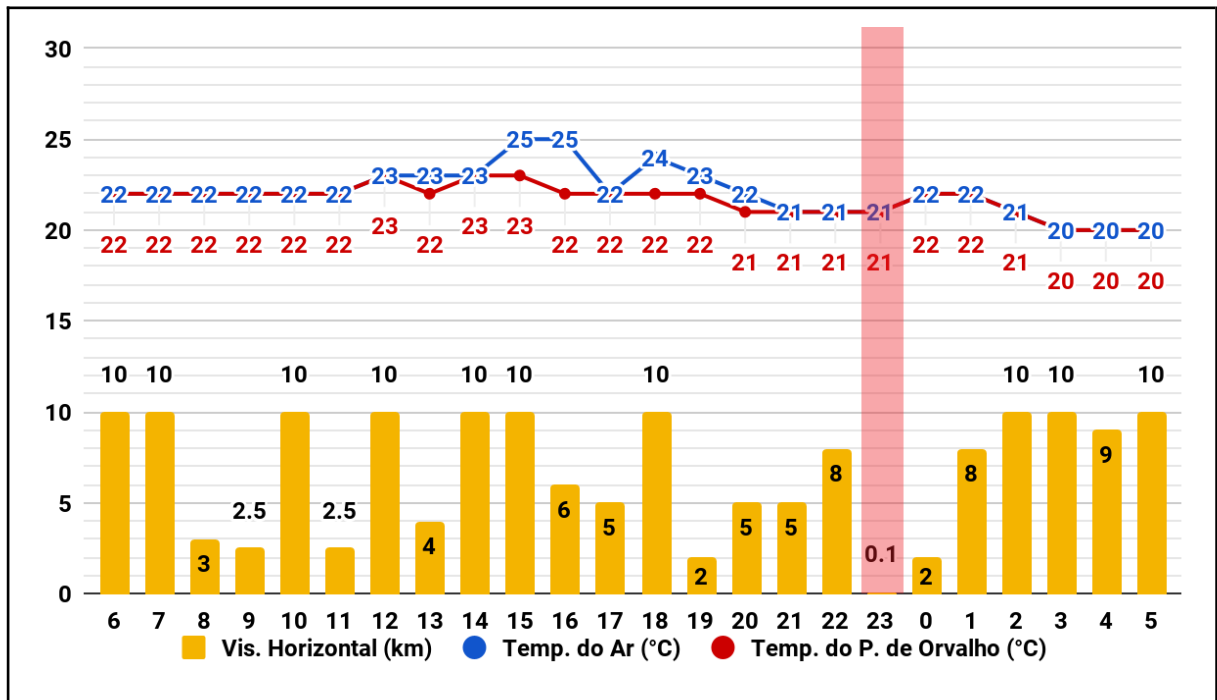


Figura 31: Visibilidade horizontal em km (barras amarelas), T em °C (linha azul) e Td em °C (linha vermelha) para Campina Grande em 22 e 23/04/2018. Faixa vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: METAR.

*Campina Grande - 02/09/2019 às 04 UTC*

Foram registrados pelo METAR dois fenômenos adversos distintos, névoa úmida antes e chuva fraca após o evento de nevoeiro. A visibilidade horizontal reduziu abaixo de 1 km durante três horas, com T e Td iguais desde 01h às 10h UTC (Figura 32).

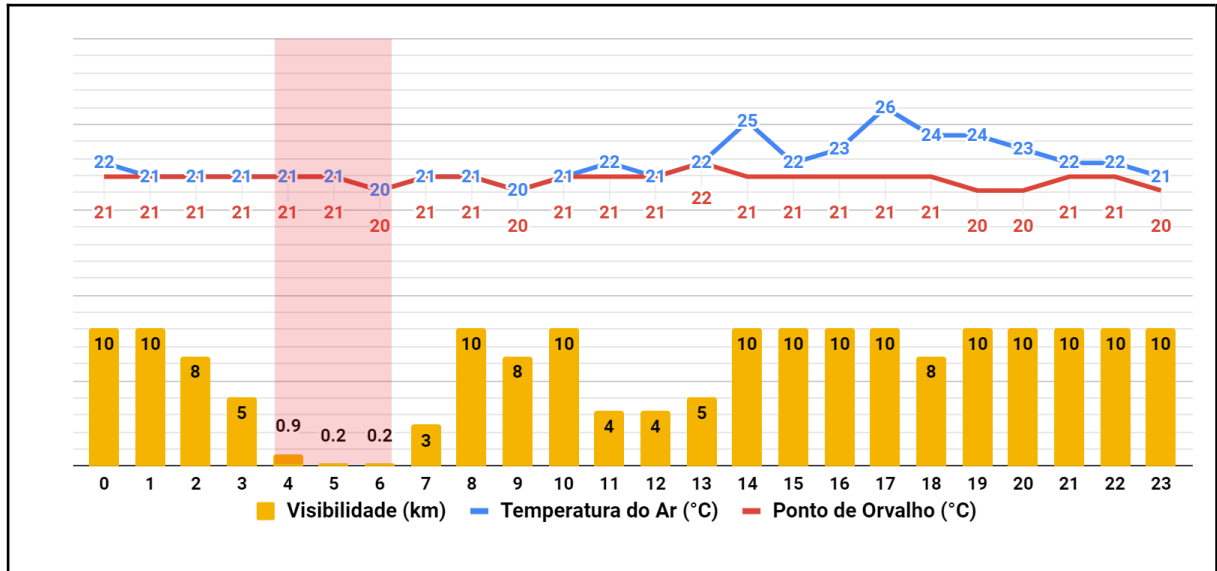


Figura 32: Visibilidade horizontal em km (barras amarelas), T em °C (linha azul) e Td em °C (linha vermelha) para Campina Grande em 02/09/2019. Faixa vermelha indica o momento do nevoeiro. Fonte: METAR.

### 5.3.3 - Análise Sinótica e Imagens de Satélites:

*Campina Grande - 03/05/2014 às 09 UTC*

A região estava sendo influenciada por correntes provindas de ondas de leste (Figura 33A). Sua velocidade aumentava à medida que adentrava ao continente.

Nas bordas da nuvem cumulus observada no canal infravermelho (Figura 33B) está o aeroporto Presidente João Suassuna. Há uma grande quantidade de nuvens de características cumuliformes cobrindo o nordeste brasileiro.

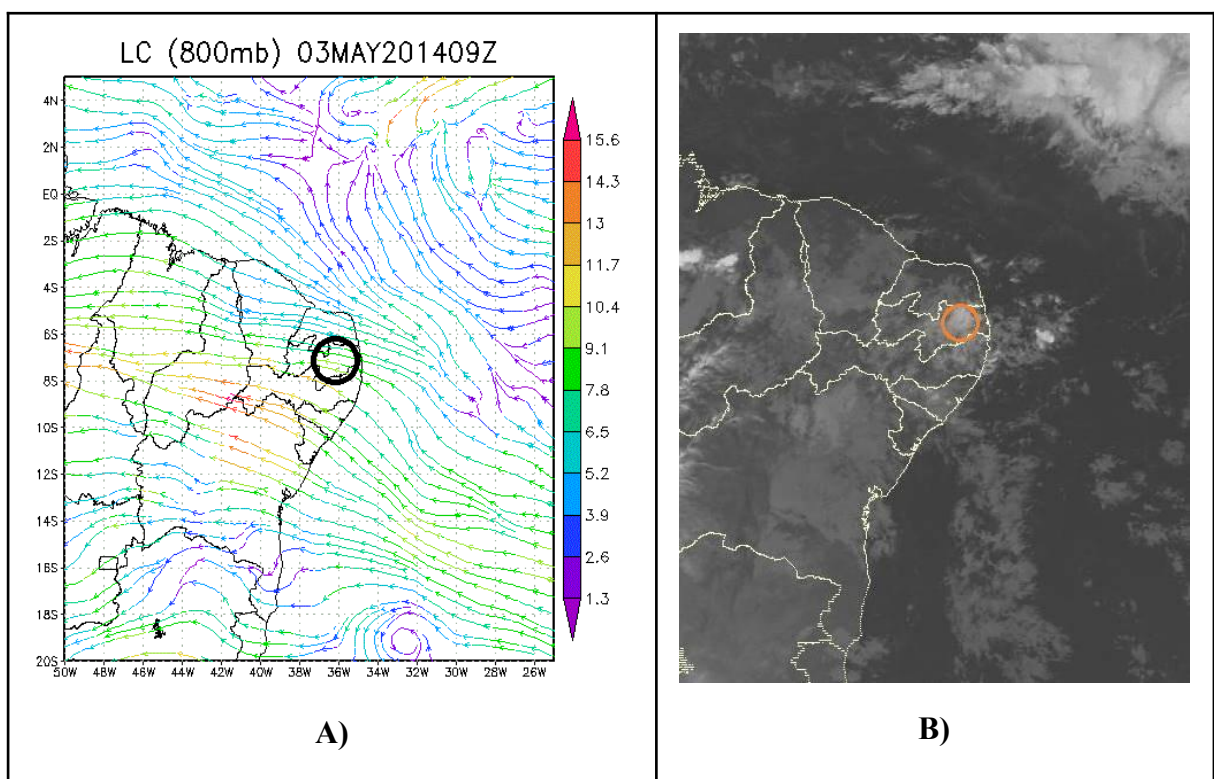


Figura 33: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 03/05/2014 às 09 UTC, círculos indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

*Campina Grande - 21/03/2015 às 03 UTC*

Há a influência de uma crista em 1000 hPa sobre o oceano afetando o NEB, sua velocidade é reduzida quando chega no continente (Figura 34A). A crista perde intensidade com o tempo. A confluências de fluxos de correntes aos arredores de Campina Grande e no nordeste brasileiro. É possível afirmar que não há nuvens intensas até altos níveis nas redondezas do aeroporto Presidente João Suassuna (Figura 34B).

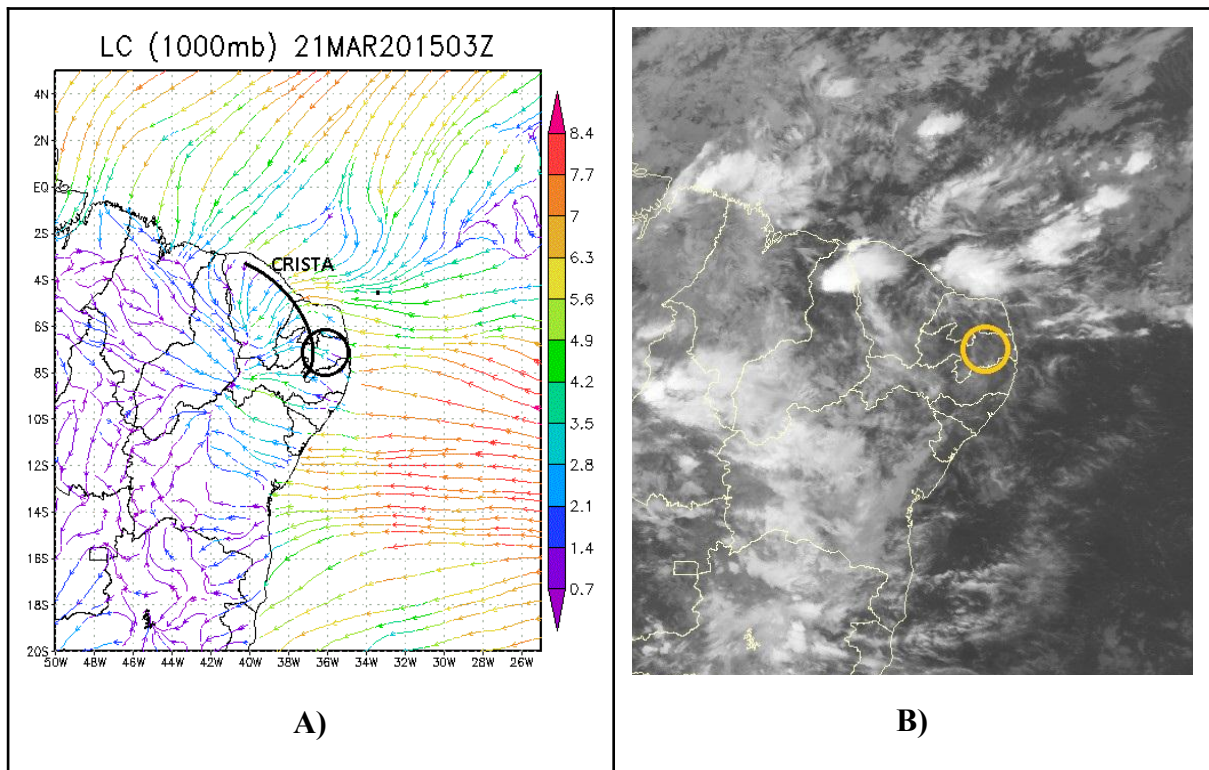


Figura 34: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 21/03/2015 às 03 UTC, círculos indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

*Campina Grande - 26/02/2016 às 03 UTC*

Na superfície (Figura 35A) pode-se observar uma confluência sobre a região, formando uma divergência, influenciando os ventos que escoam em direção à oeste. O canal infravermelho (Figura 35B) mostra que não há nebulosidade sobre a região de estudo. Isso pode ser dado pela falta de umidade em médios e altos níveis na costa leste do nordeste. Não existe nenhum sistema frontal influenciando a região no momento.

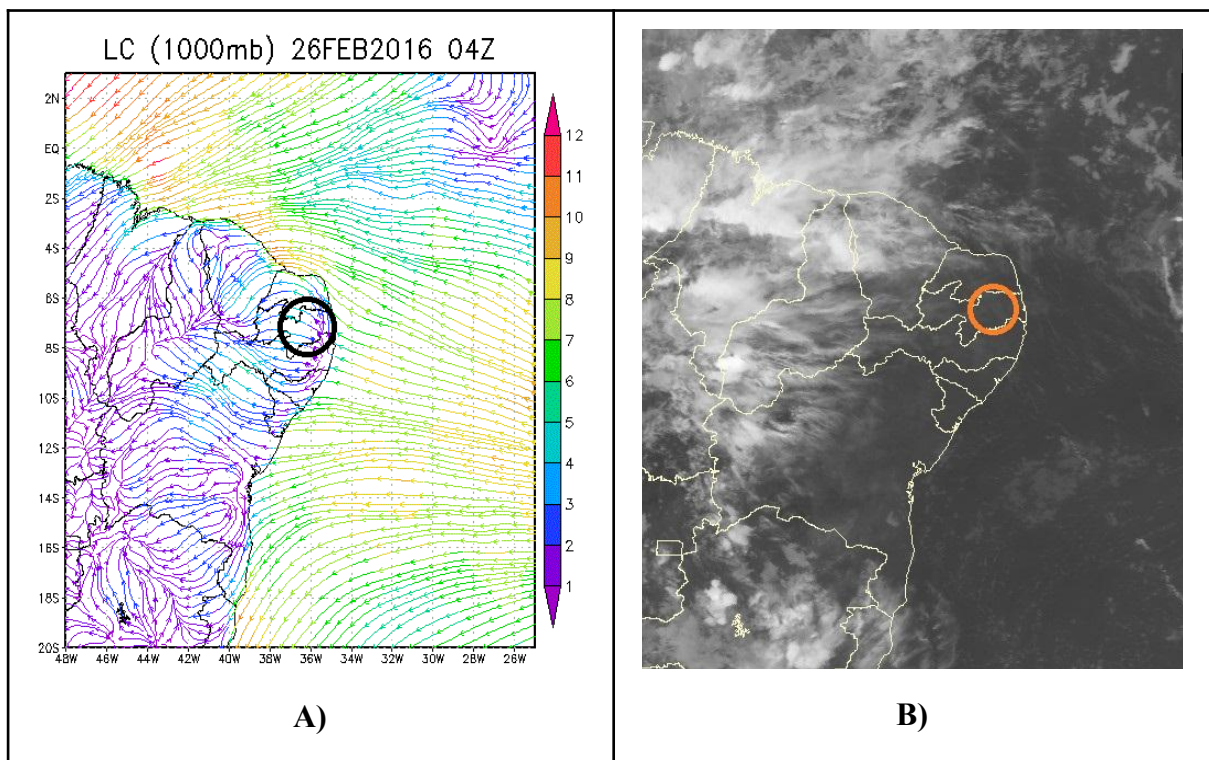


Figura 35: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 26/02/2016 às 04 UTC, círculos indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

*Campina Grande - 02/04/2018 às 03 UTC*

Há uma confluência próximo à superfície (1000 hPa) influenciando a cidade. Muitos sistemas circulatórios, um ciclone e anticiclone estão mais próximos da cidade de estudo, mas nenhum exatamente sobre a mesma. Em médios níveis (600 hPa) há cavado fraco sobre a região (Figura 36A). Sobre a região ocorreu uma confluência de correntes de dois cavados com uma crista do Hemisfério Sul. Esta confluência é um indicador de fortes movimentos descendentes.

Essa configuração pode estar inibindo a formação de nuvens em médios níveis, pois nas imagens de satélite (Figura 36B) a cidade tem menos nebulosidade do que seu entorno. No canal vapor d'água realçado é possível observar que há bastante nebulosidade sobre a região de estudo. Há umidade em médios e altos níveis sobre a costa norte do NEB, mas está seco no sertão nordestino. Os sistemas descritos nas linhas de corrente estão formando essa massa de ar seco.

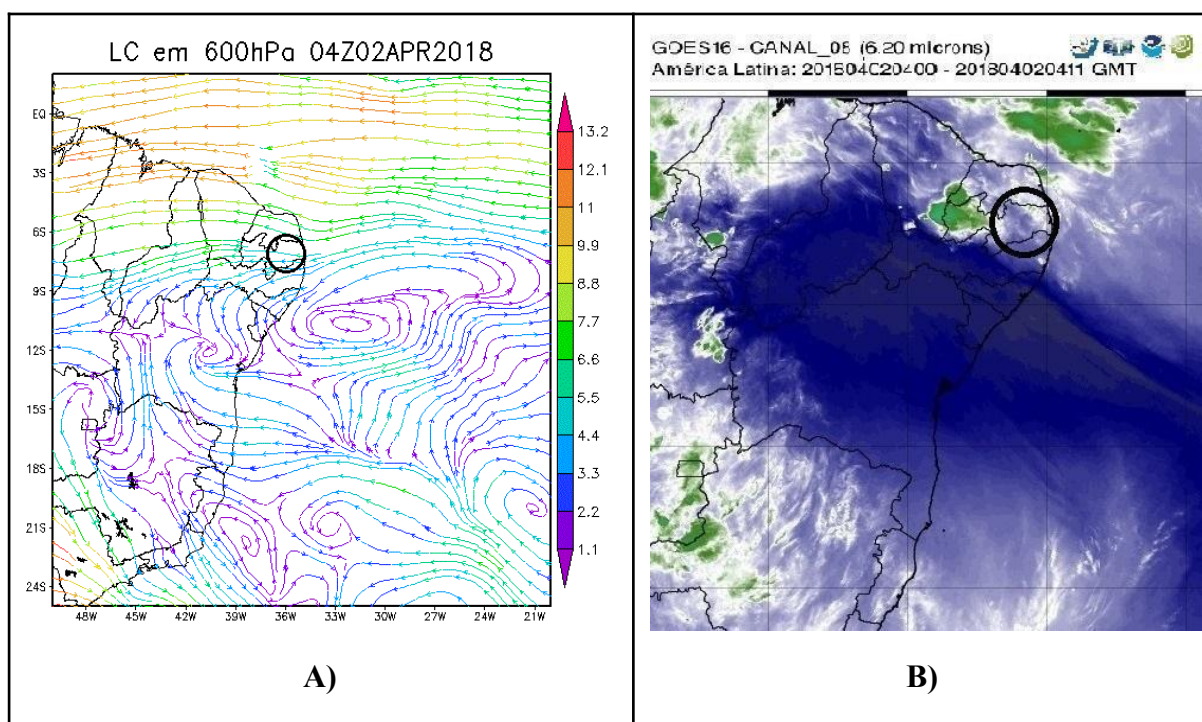


Figura 36: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 02/04/2018 às 04 UTC, círculos indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

*Campina Grande - 22/04/2018 às 23 UTC*

Uma situação um pouco parecida com o caso anterior ocorreu neste evento. Alguns sistemas circulatórios, um ciclone e uma crista influenciam o tempo. Em 400 hPa (Figura 37A) ocorrem várias confluências de cavados e cristas em torno e sobre a cidade. A cidade está localizada entre as cristas formadas pelas correntes advindas do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul. Outra crista foi identificada sobre a cidade. Estas circulações devem criar os movimentos descendentes.

O canal vapor d'água realçado (Figura 37B) mostra que havia muita umidade e nebulosidade profunda sobre a cidade. É possível observar uma banda de nuvens sobre o estado de Pernambuco e arredores

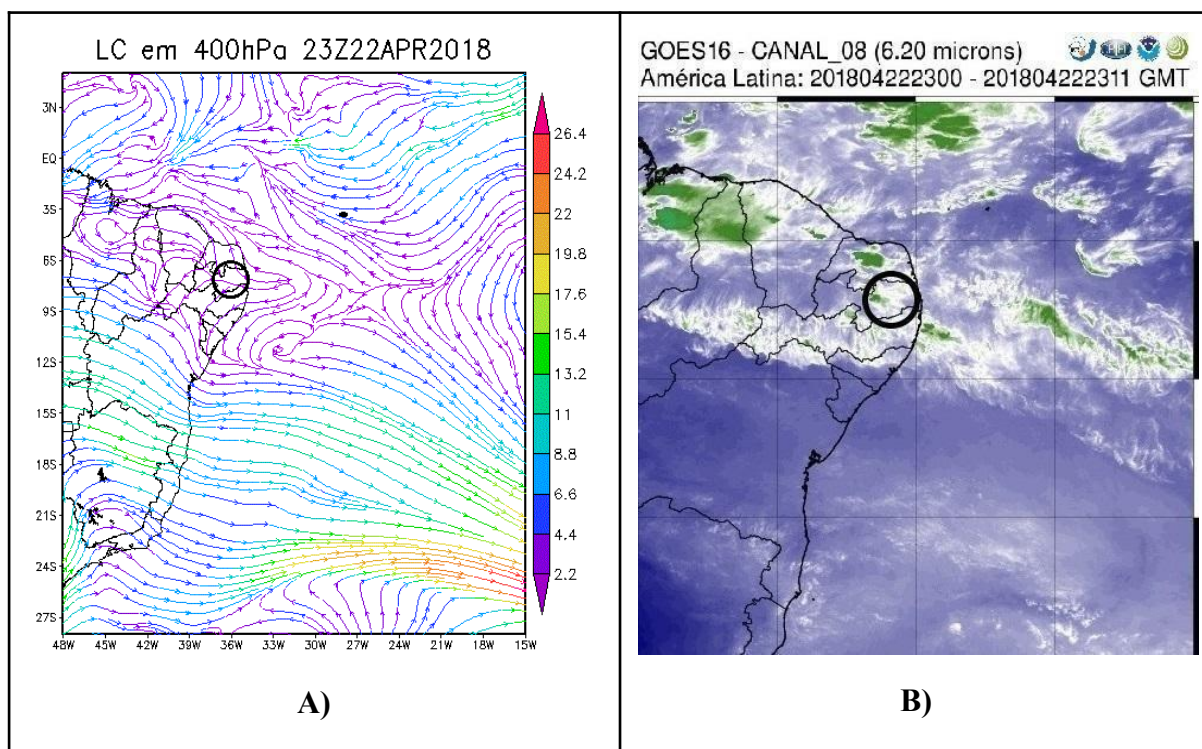


Figura 37: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 22/04/2018 às 23 UTC, círculos indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

*Campina Grande - 02/09/2019 às 04 UTC*

Um anticiclone em 800 hPa na costa leste do NEB estava gerando uma confluência sobre o estado da Paraíba, o que gerou um cavado sobre a cidade (Figura 38A). O canal do vapor d'água realçado mostrava que havia pouca nebulosidade de baixos níveis sobre a cidade (Figura 38B). Estava seco onde atuava a confluência observada nas linhas de corrente.

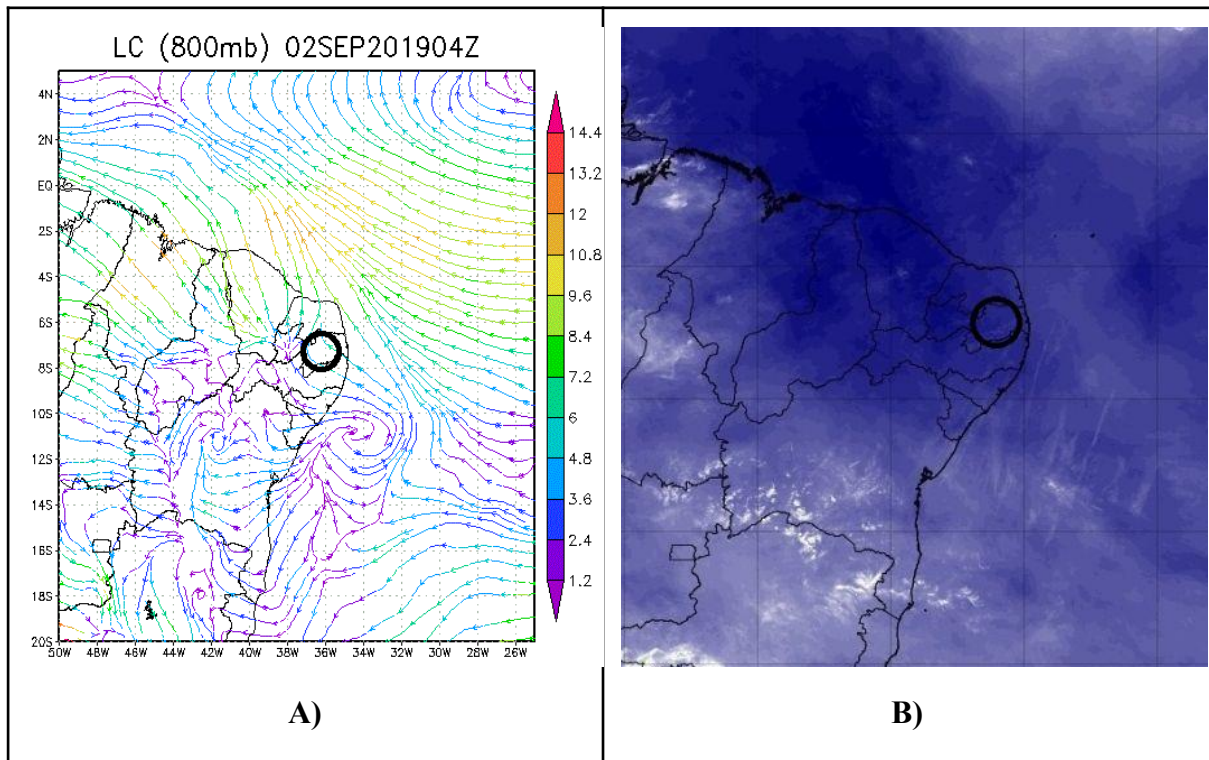


Figura 38: Linhas de corrente (A) e imagens de satélite (B) no canal infravermelho para 02/09/2019 às 04 UTC, círculos indicam localização da cidade. Fonte: ERA5 e CPTEC - INPE.

### 5.3.4 - Análise Termodinâmica:

*Campina Grande - 03/05/2014 às 09 UTC:*

O diagrama termodinâmico (Figura 39) mostra a umidade em torno de 90% entre os níveis 1000 a 925 hPa, acima desta camada a atmosfera está seca. A temperatura do ar e do ponto de orvalho estão próximas de 25°C na superfície, evidenciando a formação de um nevoeiro. O valor do CAPE está alto, portanto as condições da atmosfera estão relacionadas a energia convectiva profunda moderada e devido à diferença do ponto de orvalho e da temperatura em médios níveis há uma nuvem cumuliforme.

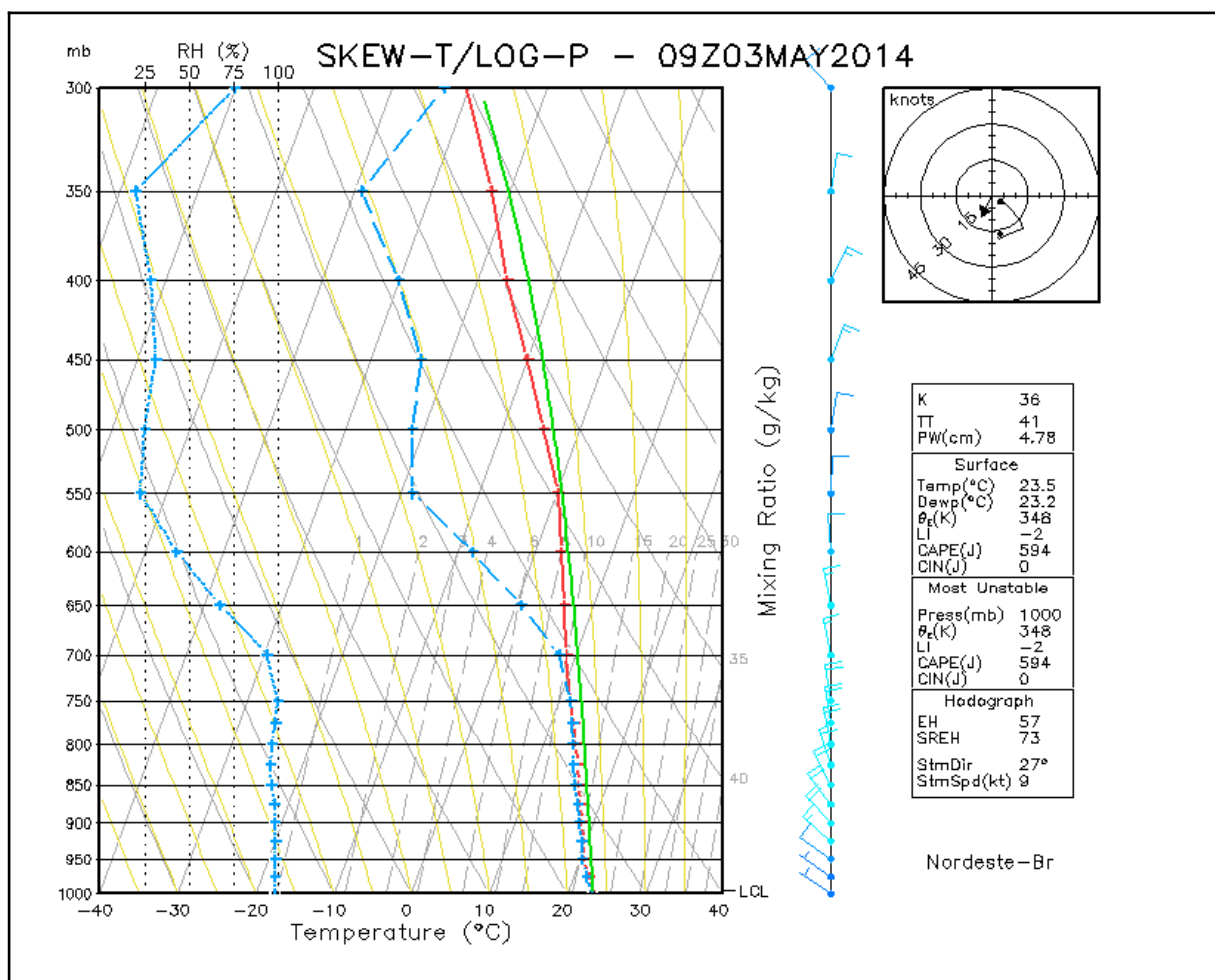


Figura 39: Diagrama termodinâmico para o dia 03/05/2014 às 09 UTC. Fonte: ERA5.

*Campina Grande - 21/03/2015 às 03 UTC:*

A análise de diagrama termodinâmico (Figura 40) mostra como estava a atmosfera no momento do nevoeiro. Ainda é observada instabilidade condicional para camada compreendida entre 1000 - 900 hPa. No NEB já foram descritos casos em que o nevoeiro se forma em condições atípicas.

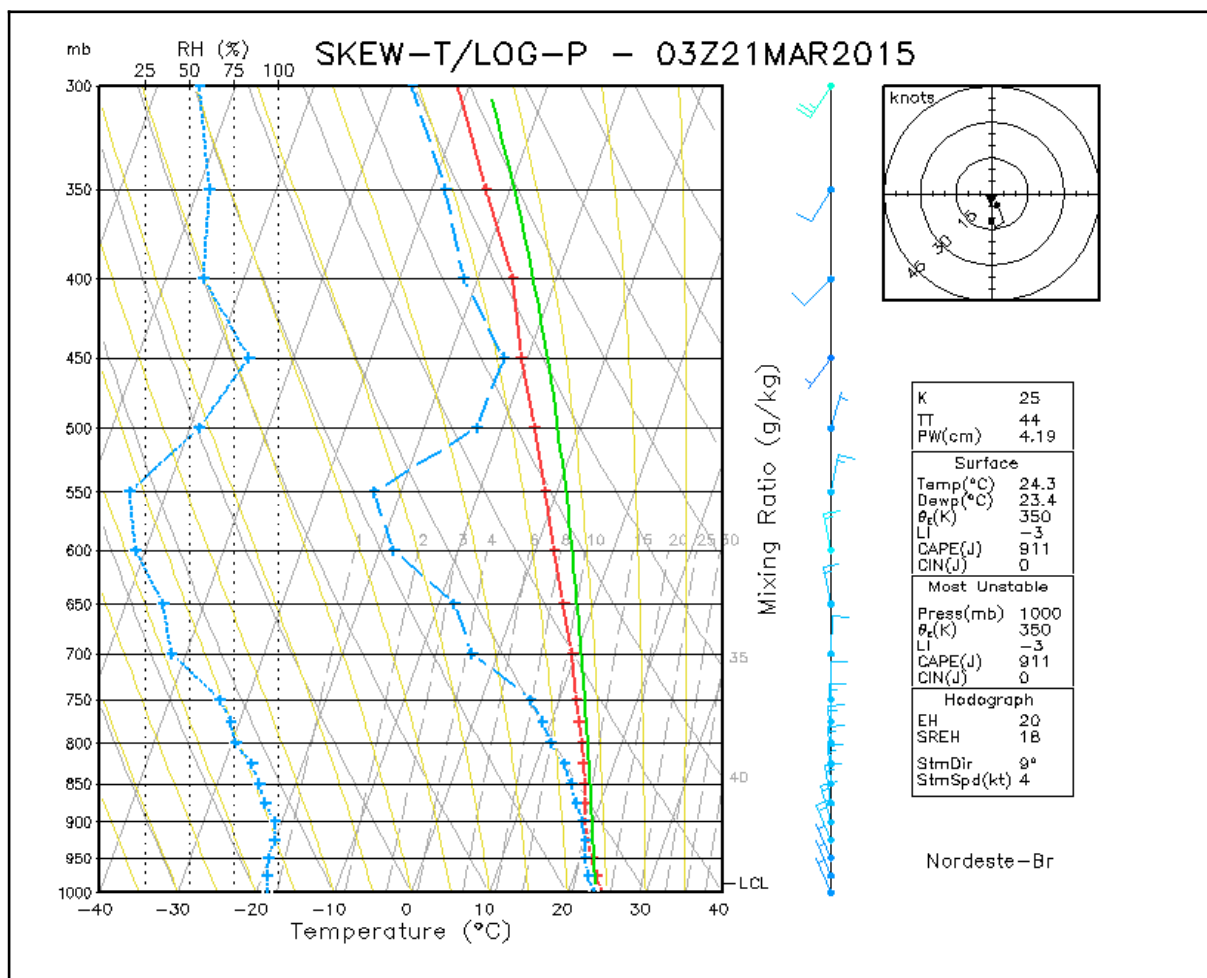


Figura 40: Diagrama termodinâmico para o dia 21/03/2015 às 03 UTC. Fonte: ERA5.

*Campina Grande - 26/02/2016 às 03 UTC:*

O perfil simulado (Figura 41) mostra que a superfície está úmida até o nível 875 hPa. As massas de ar têm direções contrárias em 500 e 400 hPa. Convergem em 450 hPa fazendo com que a umidade fique retida abaixo, portanto, está seco acima. Há uma pequena inversão de subsidência acima da camada úmida, mas a partir de 825 hPa a atmosfera se mostra estável e seca.

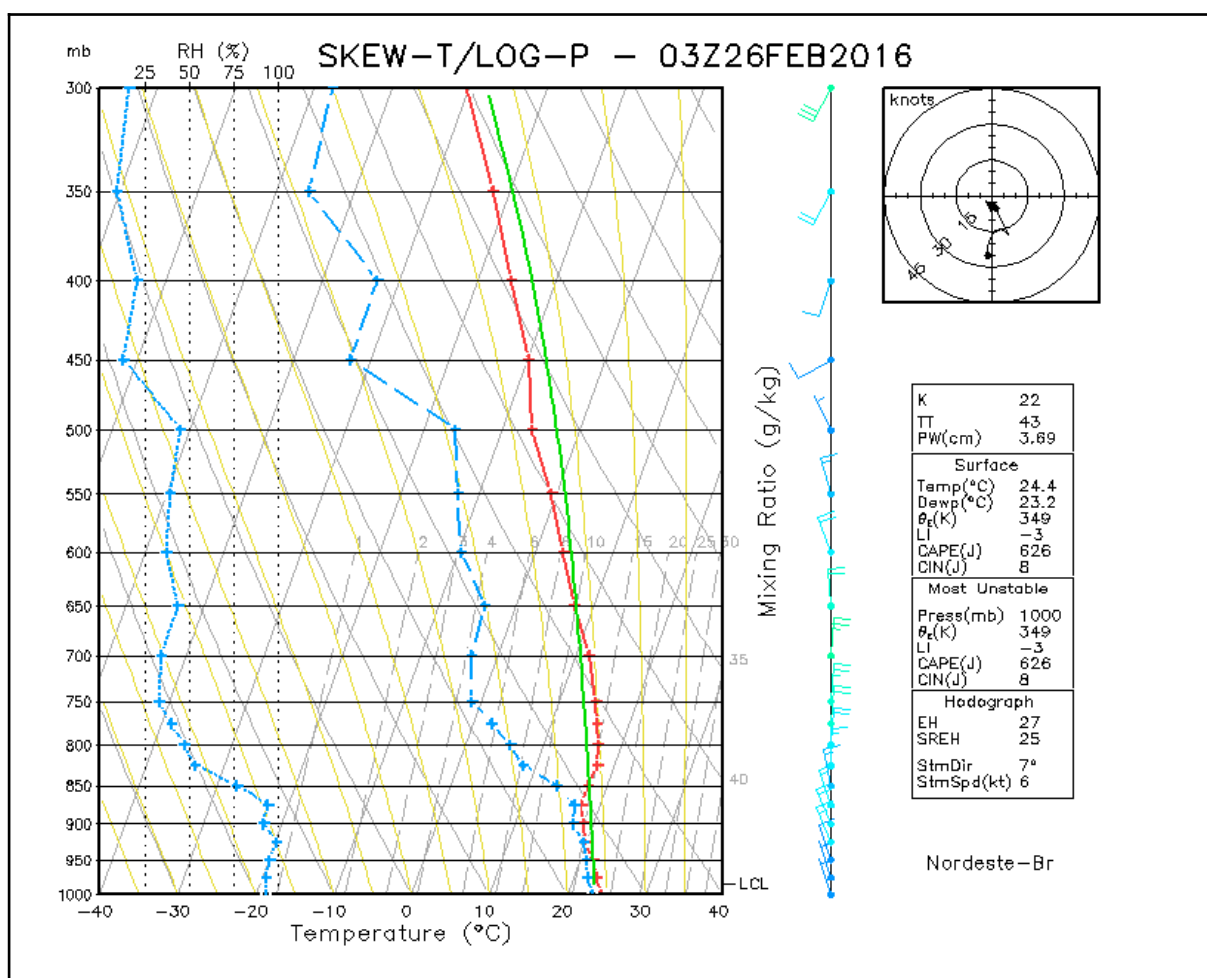


Figura 41: Diagrama termodinâmico para o dia 26/02/2016 às 03 UTC. Fonte: ERA5.

*Campina Grande - 02/04/2018 às 04 UTC:*

O diagrama termodinâmico (Figura 42) mostra que há muita umidade em baixos níveis, entre 850 hPa e a superfície. Também é possível observar uma camada úmida muito espessa entre 1000 hPa e 800 hPa.

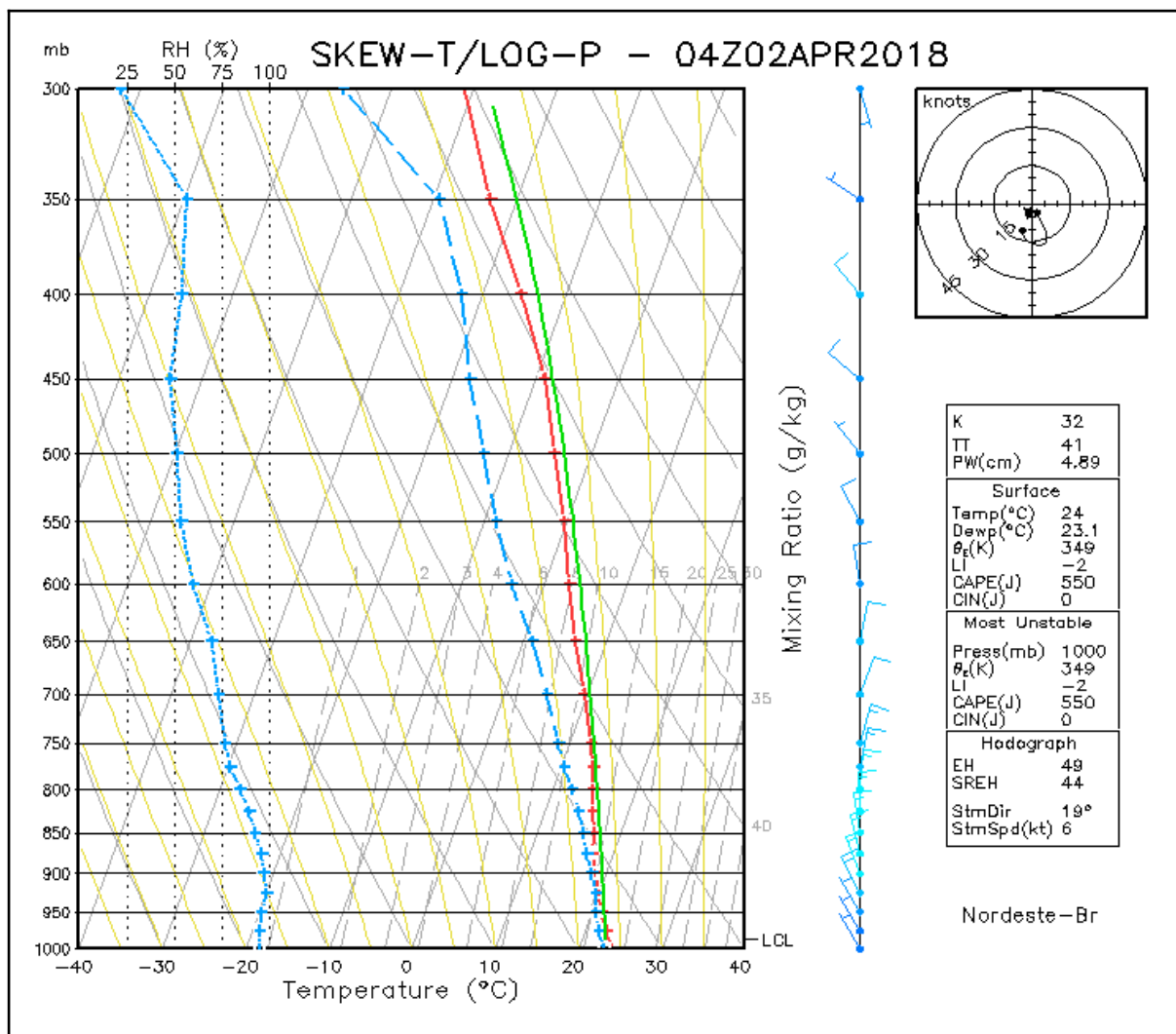


Figura 42: Diagrama termodinâmico para o dia 02/04/2018 às 04 UTC. Fonte: ERA5.

*Campina Grande - 22/04/2018 às 23 UTC:*

O diagrama termodinâmico (Figura 43) indica que havia condições para formação de nuvem stratus entre os níveis de 925 a 900 hPa, pois abaixo (próximo à superfície) a atmosfera está mais seca. Este pode ser um cenário incomum, onde a nuvem está tão próxima da superfície que pôde ser confundida com um nevoeiro pelo METAR.

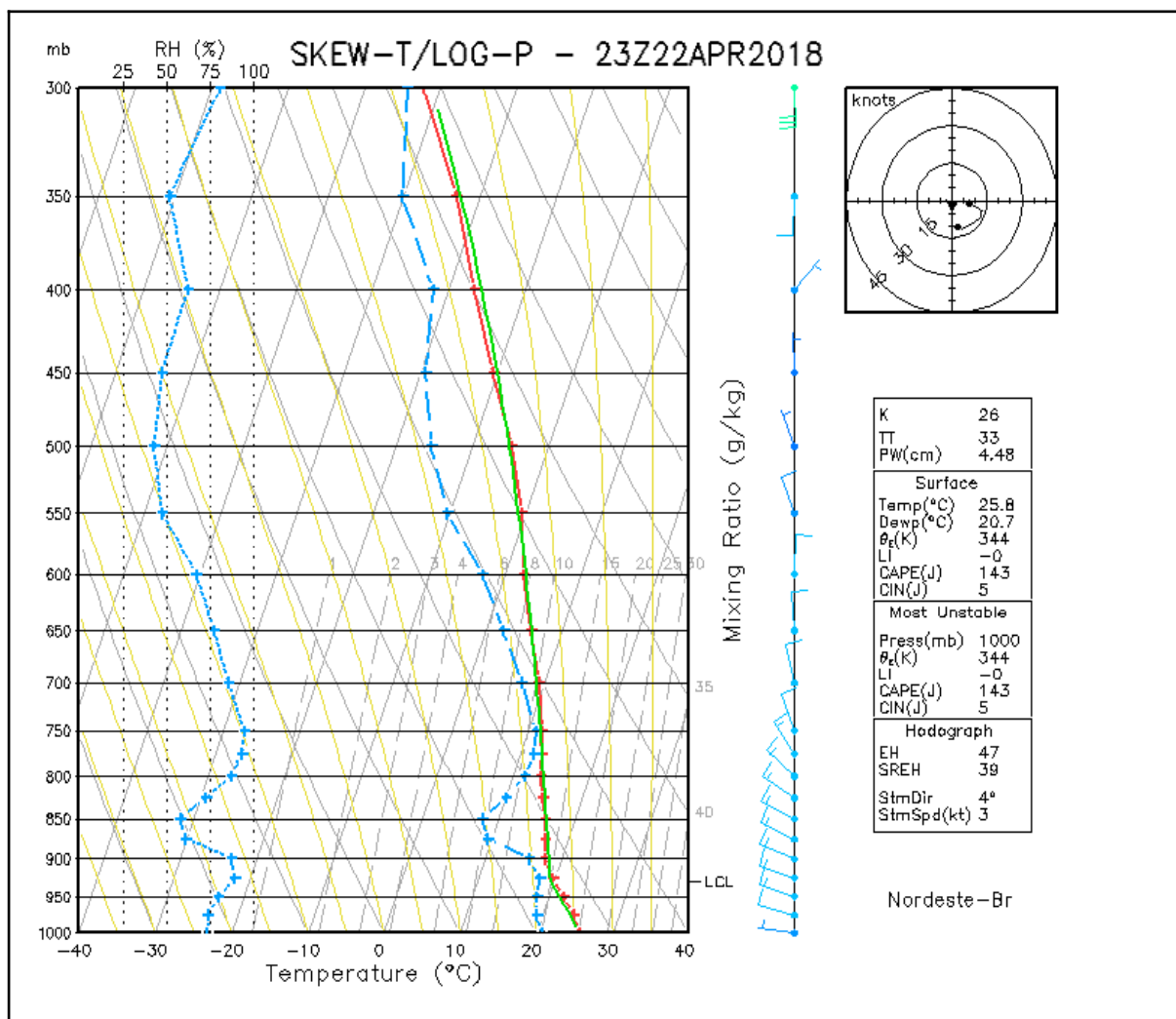


Figura 43: Diagrama termodinâmico para o dia 22/04/2018 às 23 UTC. Fonte: ERA5.

*Campina Grande - 02/09/2019 às 04 UTC:*

Observando o diagrama termodinâmico da Figura 44, constata-se que havia um nevoeiro em baixos níveis na camada úmida, entre a superfície e 925 hPa. A atmosfera se mantém estável até médios níveis com CAPE baixo, ou seja, sem nebulosidade convectiva.

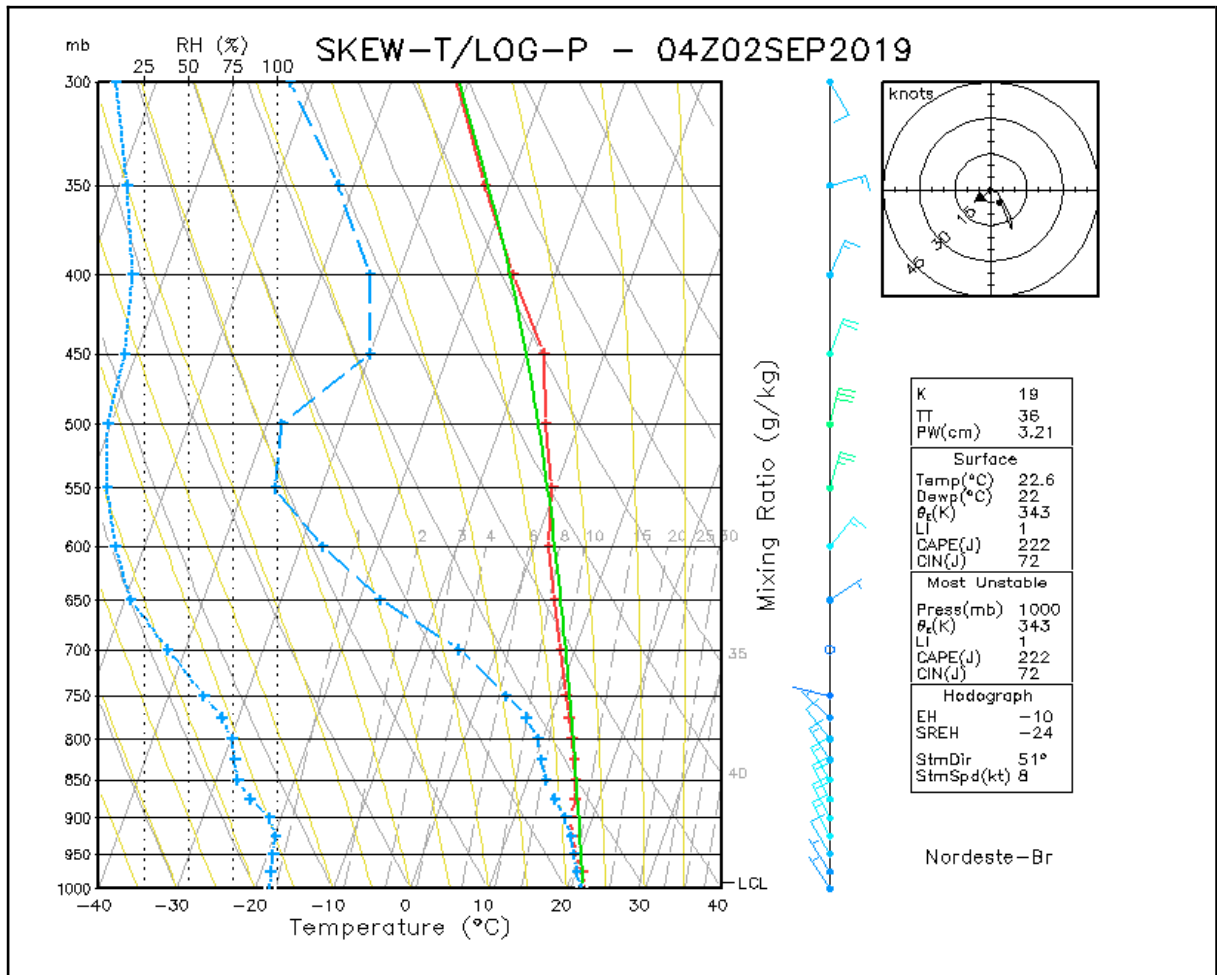


Figura 44: Diagrama termodinâmico para o dia 02/09/2019 às 04 UTC. Fonte: ERA5.

## 5.4 - PREVISÃO DE NEVOEIRO PELOS MODELOS - PAFOG, FogVIS

### 5.4.1 - Previsão de Nevoeiro Pelo Modelo PAFOG

O modelo foi desenvolvido na Alemanha e pré-configurado com uma altura máxima de 400 m para a previsão de nevoeiro, devido a atmosfera extratropical. Este parâmetro prejudicou pesquisas anteriores. Contudo, o PAFOG mostrou gerar resultados apenas até uma altura máxima de 1900 m. Este valor é aceitável com base em estudos anteriores na região do NEB (Silveira 2003, Fedorova et al. 2008, Silva 2012, Fedorova et al. 2015). Então foi feito este ajuste na altura para todos os casos, a fim de se evitar que a previsão seja interrompida quando um nevoeiro for calculado em uma altitude superior a 400 m.

#### 5.4.1.1 - Modelo PAFOG para Maceió:

*Maceió - 11/06/2010:*

O PAFOG não executou uma boa previsão para este caso de Maceió (Figura 45). O modelo calculou nevoeiro apenas com 06h de antecedência ao evento. Entretanto, todos os cálculos tiveram interrupções no momento do nevoeiro.

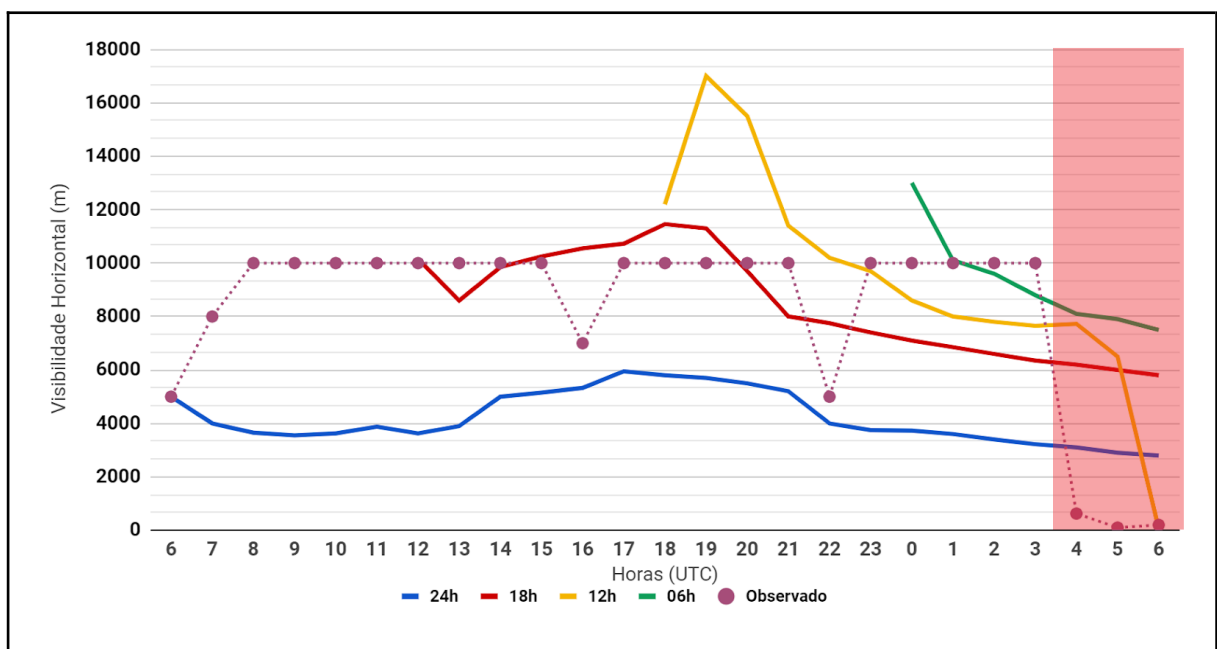


Figura 45: Previsão de visibilidade horizontal para o dia 11/06/2010. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

Maceió - 07/03/2012:

O PAFOG não previu nevoeiro para Maceió (Figura 46). O modelo calculou uma redução da visibilidade horizontal no momento do evento observado, mas não gerou valores abaixo de 1000m. Entretanto, não houveram erros nos cálculos, as previsões foram completas.

É possível observar no gráfico que o modelo calcula valores com um padrão similar ao do evento observado nas previsões próximas do horário que ocorreu. O gráfico começa às 12Z do dia 06/03/2012 e vai até às 06Z do dia 08/03/2012.

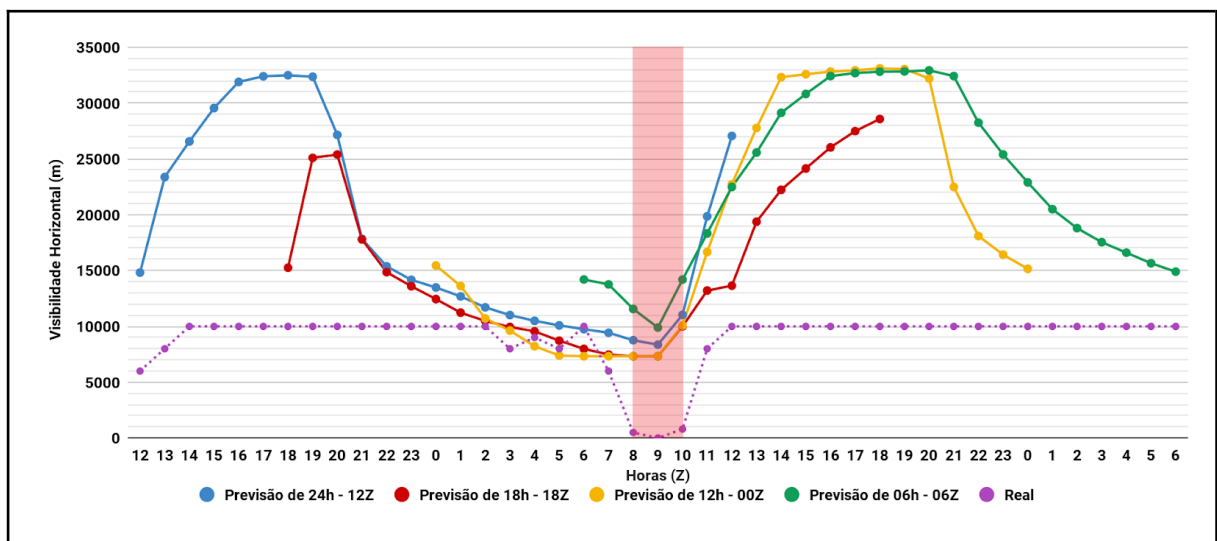


Figura 46: Previsão de visibilidade horizontal para o dia 07/03/2012. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

Maceió - 07/06/2018:

Os cálculos de todos os horários foram interrompidos mesmo com o ajuste de altura (Figura 47). Como ocorreram dois eventos, para este caso foi adotada a nomenclatura de A, B, C e D para os cálculos iniciados em momentos com 6h de diferença entre si. Previsão A calculou nevoeiro com 2h de duração. Em B foi previsto um nevoeiro antes do observado. O cálculo C previu ambos nevoeiros em horários diferentes. D previu o segundo nevoeiro no horário observado, entretanto, com maior duração.

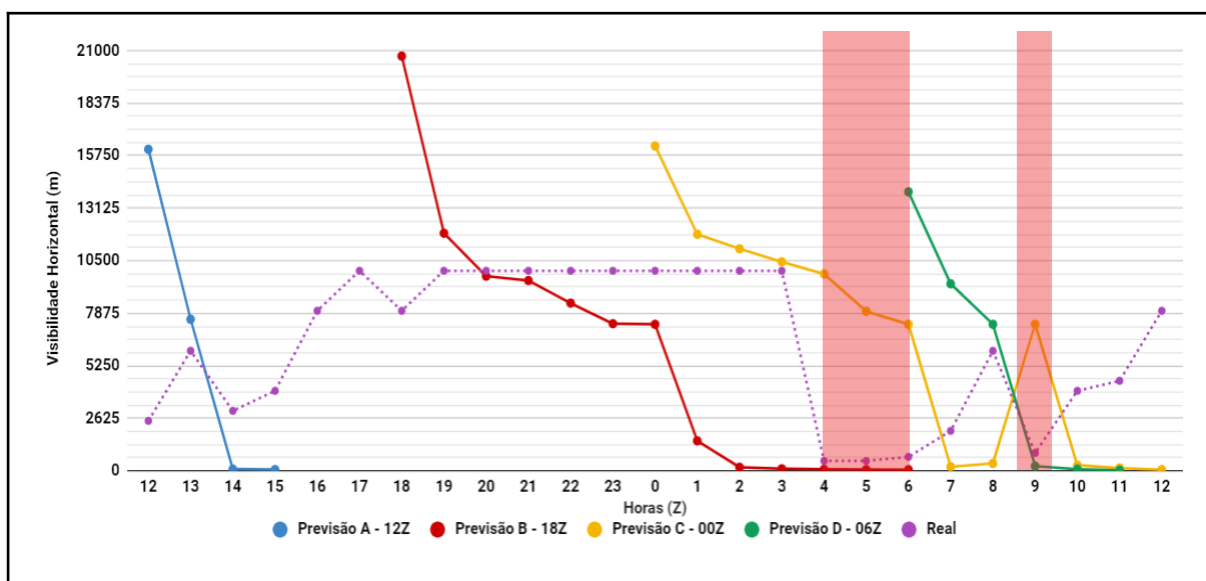


Figura 47: Previsão de visibilidade horizontal para o dia 07/06/2018. Colunas vermelhas mostram os momentos dos eventos. Fonte: PAFOG.

#### 5.4.1.2 - Modelo PAFOG para Recife:

Recife - 18/08/2013:

O PAFOG foi muito satisfatório. Previu nevoeiro em todos os cálculos, mas em todos houveram interrupções (Figura 48). No cálculo de 24h de antecedência ele previu dois nevoeiros, um longo e um curto. As previsões de 18h e 12h de antecedência calculam nevoeiro no mesmo horário. Com 06h de antecedência previu um nevoeiro curto que se formou 1 hora antes do horário observado.

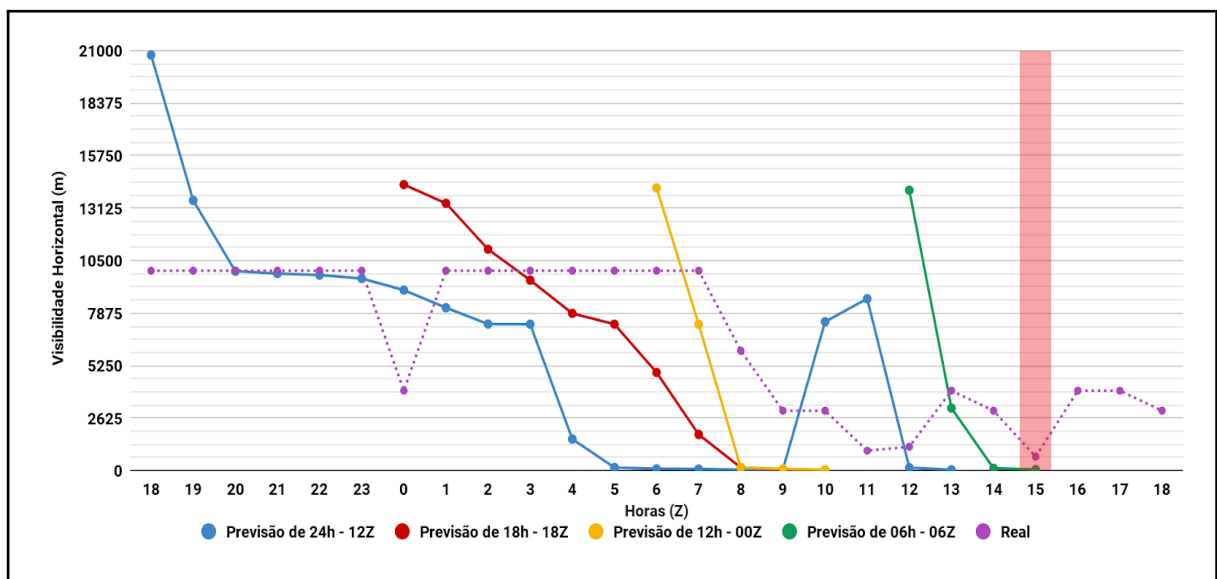


Figura 48: Previsão de visibilidade horizontal para o caso de Recife. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

#### 5.4.1.3 - Modelo PAFOG para Campina Grande:

*Campina Grande - 03/05/2014:*

Observa-se que o modelo falhou nas previsões feitas com 24 (linha azul) e 18 horas (linha vermelha) de antecedência (Figura 49). O modelo previu o nevoeiro com 12h (linha amarela) e 06h (linha verde) de antecedência. Ele mostra com mais precisão o horário correto quando a previsão é feita mais próxima do horário do evento.

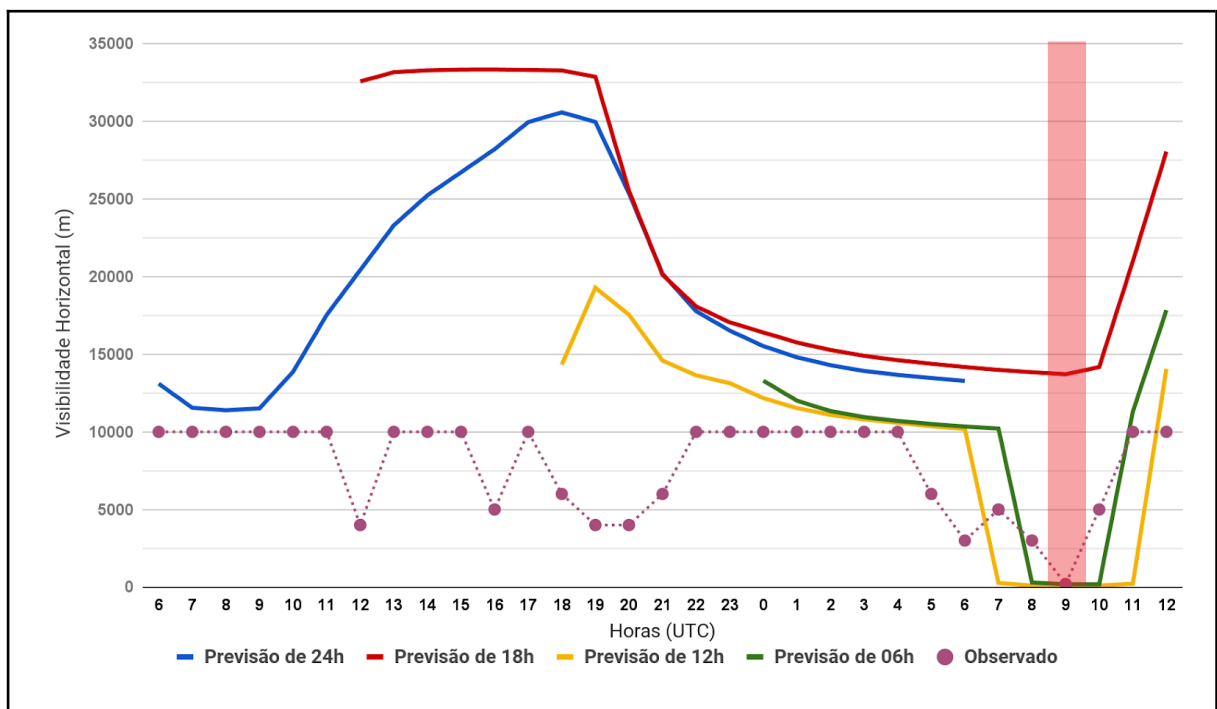


Figura 49: Previsão de visibilidade horizontal para CG - 03/05/2014. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

*Campina Grande - 21/03/2015:*

Também houveram falhas nas previsões deste caso (Figura 50). Com 24h houve uma interrupção no meio do cálculo gerando valor irreconhecível. O cálculo com 06 horas de antecedência foi o mais curto e o único que previu nevoeiro, no exato momento em que o observado foi registrado.

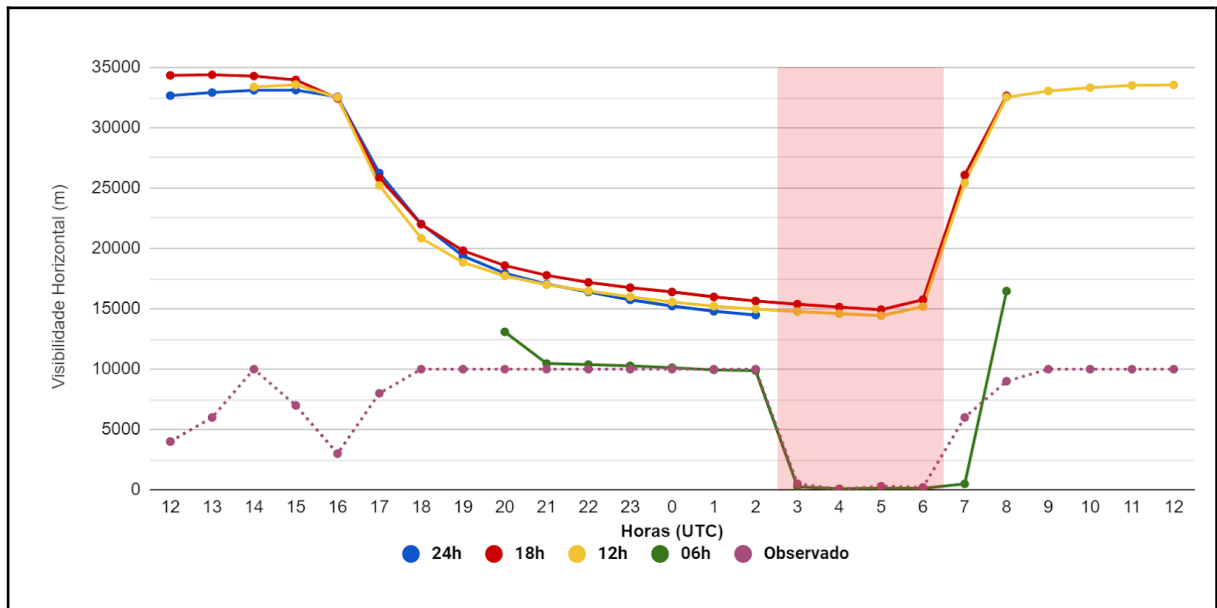


Figura 50: Previsão de visibilidade horizontal para CG - 21/03/2015. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

*Campina Grande - 26/02/2016:*

Um nevoeiro foi previsto com 24h de antecedência para o caso de CG (Figura 51) com a exata duração do observado, porém em um momento diferente. Nas previsões de 18h e 12h ocorre uma redução drástica na visibilidade horizontal no início do cálculo, mas não suficiente para um nevoeiro. A previsão de 06h reduz a visibilidade horizontal no momento do nevoeiro observado, mas não abaixo de 1000m.

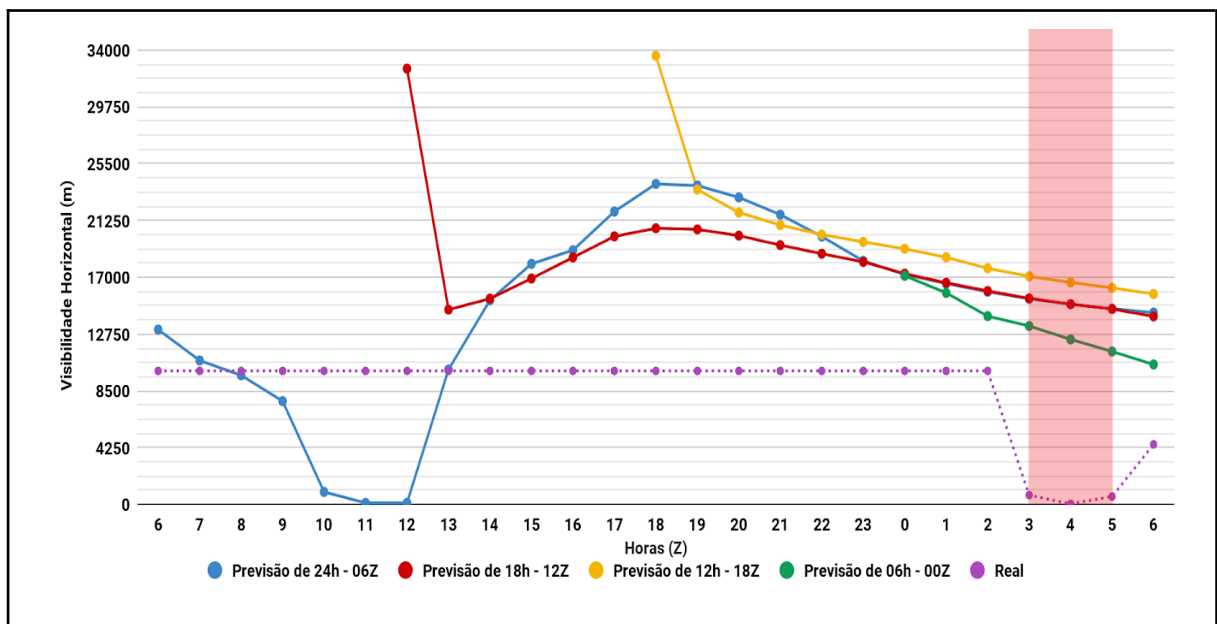


Figura 51: Previsão de visibilidade horizontal para CG - 26/02/2016. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

*Campina Grande - 02/04/2018:*

Ocorreu uma redução da visibilidade horizontal apenas uma hora antes do evento (Figura 52). A previsão do PAFOG com 24h de antecedência previu dois períodos com nevoeiro. Com 18h previu três períodos com nevoeiros e nas previsões de 12h e 06h de antecedência calculou apenas um nevoeiro.

As previsões de 24h e 18h tiveram uma duração maior do que o observado, porém em um momento diferente do observado. Nas previsões de 12h e 06h a visibilidade reduz gradualmente e informa um nevoeiro no momento registrado pelo METAR.

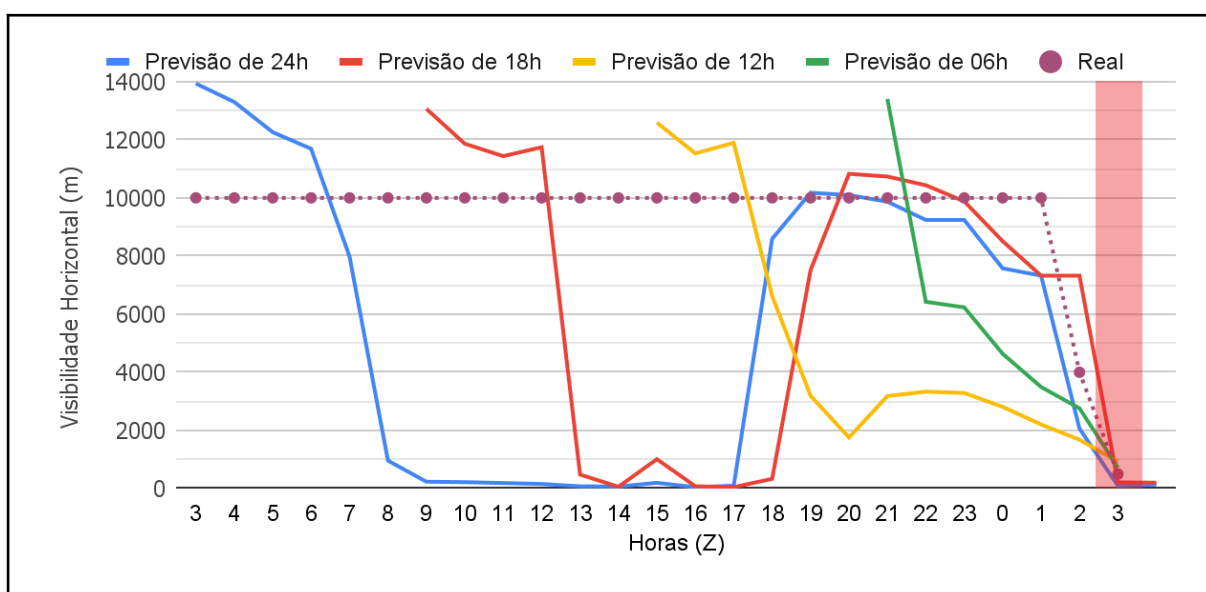


Figura 52: Previsão de visibilidade horizontal para CG - 02/04/2018. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

*Campina Grande - 22/04/2018:*

Durante todo o dia a visibilidade horizontal oscilou, reduzindo e aumentando (Figura 53). O PAFOG previu dois períodos de nevoeiros com 24h e um nevoeiro com 18h de antecedência, horários em que o observado reduzia a visibilidade. Com 12h e 06h de antecedência não houve previsão, mas a visibilidade tendeu a reduzir.

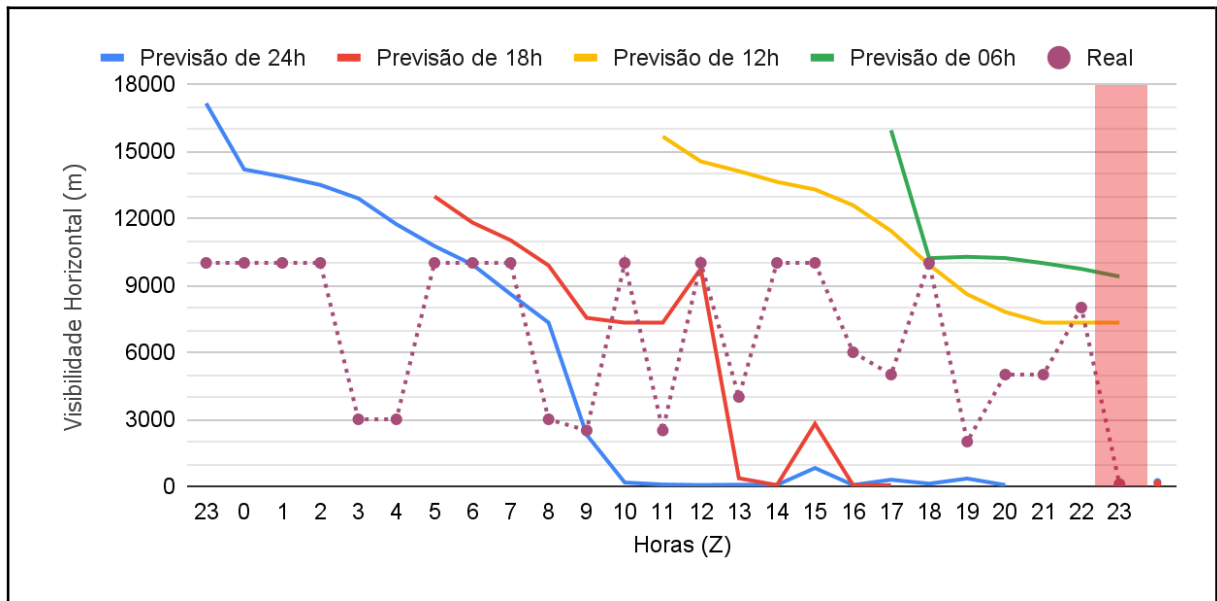


Figura 53: Previsão de visibilidade horizontal para CG - 22/04/2018. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

*Campina Grande - 02/09/2019:*

As previsões do PAFOG para este caso de CG (Figura 54) foram satisfatórias. As previsões de 24h e 18h de antecedência foram muito similares, calculando dois nevoeiros, um longo e um curto, porém nenhum no horário do observado. Com 12h e 06h de antecedência não houve previsão.

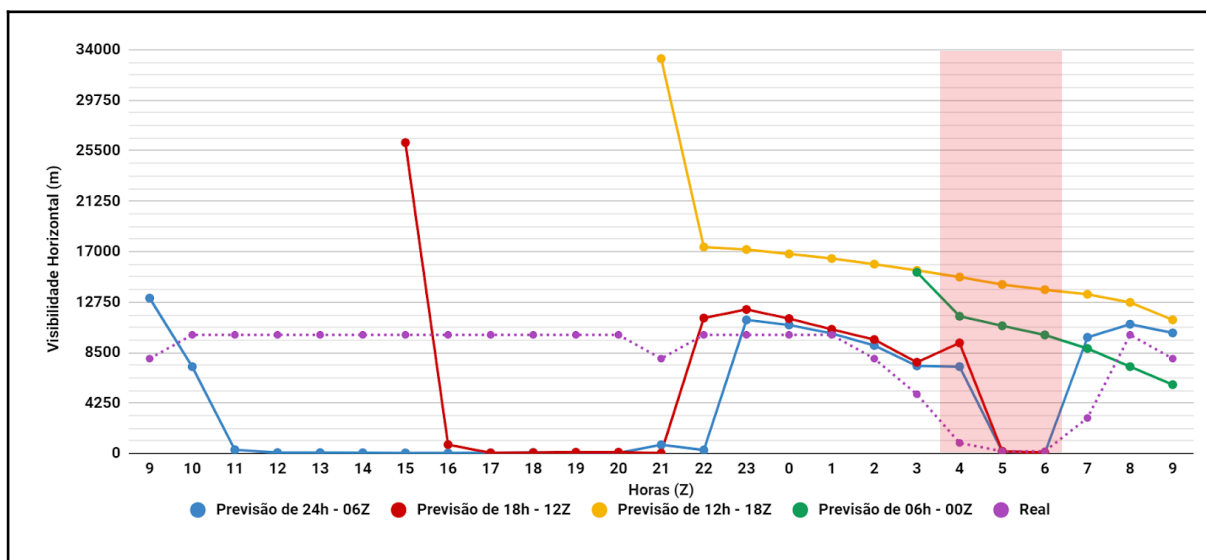


Figura 54: Previsão de visibilidade horizontal para CG - 02/09/2019. Coluna vermelha mostra o momento do evento. Fonte: PAFOG.

#### 5.4.2 - Previsão de Nevoeiro Pelo Modelo FogVIS

O software calcula a visibilidade horizontal e o índice de estabilidade para o local. A eficiência de um modelo pode ser avaliada quando seus resultados estão dentro do valor real observado, nesse caso, registrado no código METAR.

Além de comparar a eficácia dos dois modelos, também é necessário analisar o melhor momento para executá-los em conjunto. O autor do FogVIS sugere que os cálculos sejam feitos com 24h de antecedência, mas as previsões com 18h tiveram melhores resultados.

As previsões do FogVIS para nevoeiros moderados obtiveram valores dentro da amplitude da visibilidade observada. O único que não obteve uma previsão razoável foi o caso de Recife, o METAR registrou um nevoeiro fraco e o FogVIS calculou um nevoeiro moderado para intenso.

### 5.4.3 - Resultados do Modelo PAFOG com FogVIS e Dados Observados

Os resultados da comparação são apresentados na tabela 3. Para alguns casos, o PAFOG não conseguiu prever nevoeiro com 24 ou 18 horas de antecedência, portanto em alguns casos não foi possível compará-lo com o FogVIS e na tabela 3 a seguir não constam valores em suas células correspondentes. Entretanto, no geral o FogVIS indicou boa estabilidade de nevoeiro, fraco com 24h e moderado com 18h de antecedência.

O Fog SI indica a possibilidade de ocorrência de nevoeiro. Ele se mostrou mais eficiente quando o nevoeiro observado teve uma menor amplitude de visibilidade horizontal desde a formação à dissipação do fenômeno.

Quando o FSI indicou baixa probabilidade de formação de nevoeiro, o PAFOG e o FogVIS fizeram previsões muito eficazes, pois os valores de seus resultados ficaram dentro da amplitude do observado. O Fog SI se mostrou mais eficiente com 18h de antecedência em razão de indicar alta possibilidade de ocorrência nestes cálculos.

| Modelos e Softwares | METAR     | PAFOG - Vis. H. (m) |       | FogVIS - Vis. H. (m) |       | FogVIS - FSI |              |
|---------------------|-----------|---------------------|-------|----------------------|-------|--------------|--------------|
|                     | Obs.      | 24h                 | 18h   | 24h                  | 18h   | 24h          | 18h          |
| M - 11/06/2010      | 200 - 400 | -                   | -     | 598,1                | 308,0 | 60,0 - Baixa | 42,8 - Mod.  |
| M - 07/03/2012      | 0 - 800   | -                   | -     | 165,7                | 216,6 | 42,2 - Mod.  | 48,7 - Mod.  |
| M - 07/06/2018      | 500 - 700 | 92,2                | 67,4  | 704,8                | 513,3 | 32,7 - Mod.  | 37,8 - Mod.  |
| R - 18/08/2013      | 700       | 159,7               | 157,1 | 239,9                | 281,0 | 38,9 - Mod.  | 43,1 - Mod.  |
| CG - 03/05/2014     | 200       | -                   | -     | 429,5                | 527,8 | 48,1 - Mod.  | 71,1 - Baixa |
| CG - 21/03/2015     | 50 - 500  | -                   | -     | 643,6                | 365,9 | 44,5 - Mod.  | 54,0 - Mod.  |
| CG - 26/02/2016     | 50 - 700  | 941,1               | -     | 566,5                | 387,7 | 42,5 - Mod.  | 46,5 - Mod.  |
| CG - 02/04/2018     | 500       | 136,6               | 202,8 | 919,8                | 399,7 | 19,6 - Alta  | 20,6 - Alta  |
| CG - 22/04/2018     | 100       | 195,5               | 131,0 | 797,1                | 440,3 | 30,2 - Mod.  | 19,1 - Alta  |
| CG - 02/09/2019     | 200 - 900 | 323,6               | 79,5  | 310,0                | 968,1 | 55,7 - Baixa | 53,2 - Baixa |

Tabela 3: Comparação da visibilidade horizontal observada pelo Código METAR e simulada pelo modelo PAFOG e pelo software FogVIS para os casos escolhidos.

## 6 - CONCLUSÕES

Durante 13 anos analisados nos três aeroportos foram identificados 218 eventos de nevoeiro. Importante destacar, que a frequência de nevoeiros nestes aeroportos foi muito diferente: 32 casos em Maceió, apenas um caso em Recife e 185 casos em Campina Grande.

### *Casos de Maceió.*

No período de estudo (13 anos) foram registrados para Maceió 32 casos de nevoeiro. A temperatura média durante os casos era de 21,5°C. Todos os casos registraram  $T-T_d=(1$  ou  $0)$  antes, durante e depois do evento. Alguns casos registraram névoa úmida após o evento, e em outros, chuva fraca foi registrada após. Apenas um caso teve céu limpo antes do evento. Imagens de satélite mostram nebulosidade cumuliforme no local apenas durante a manhã, após a dissipação do nevoeiro.

O processo de formação foi lento e os nevoeiros duraram pouco tempo. média foi 1 hora e 20 minutos. A maior frequência de casos foi no mês de junho com 13 casos, seguido por julho com 6, e foram durante a madrugada ou no início da manhã (entre às 04 e 09 UTC). O nevoeiro mais longo durou 3 horas e 40 minutos, com umidade relativa alta (95 - 100%) em baixos níveis havia nebulosidade nos casos curtos

Na maioria dos casos, a região estava sendo influenciada por um cavado em 1000 hPa que perdia força no momento que o nevoeiro ocorre. Em alguns casos foi registrado outro fenômeno adverso, como chuva e névoa úmida, durante o evento. Os mais intensos ocorreram com o céu limpo.

### *Caso de Recife.*

O caso de Recife foi o único do nordeste a ocorrer pela tarde. A cidade estava influenciada por um cavado em baixos níveis e uma crista em médios níveis, as mesmas configurações comuns para Maceió. O código METAR registrou a presença de precipitação pluvial, o que pode ser averiguado nas imagens de satélite que mostram nuvens de topo quente. Esta precipitação antes do evento pode ter contribuído para a humidificação do ar através da evaporação de gotas de chuva da superfície úmida (Fedorova et al., 2015).

É possível afirmar que Recife não possui condições favoráveis para a formação de nevoeiro ou redução da visibilidade horizontal, já que em um período de 13 anos apenas um caso foi registrado. Este deve ser considerado como um fenômeno extremamente atípicos.

### ***Casos de Campina Grande.***

Em Campina Grande foram registrados 185 dias com nevoeiro entre 2008 e 2020 que caracterizou-se por nevoeiros intensos, céu constituído por nuvens convectivas, e umidade relativa alta (100%) em baixos níveis, em alguns casos também há nuvens em altos níveis.

Os eventos de nevoeiro se formaram com mais rapidez. O nevoeiro mais longo durou 7 horas. 9 casos registraram chuva durante o nevoeiro. Névoa úmida foi registrada antes da formação (em 42 casos) ou após a dissipação (em 34 casos) do nevoeiro.

Em 112 casos a região estava sendo influenciada por uma crista em 1000 hPa. Em outros casos, houve confluências próximo à superfície, cavado em médios e uma crista em altos níveis, formada por correntes de ar dos dois hemisférios. Essas correntes formam movimentos ascendentes em 900 hPa e descendentes em 750 hPa, confirmadas pelo corte da secção vertical. Isso retém a umidade próximo à superfície e inibe a formação de nuvens em médios níveis.

### ***Previsão do PAFOG Para Maceió.***

As previsões para as datas mais antigas (2010 e 2012) foram pouco satisfatórias, apenas um cálculo registrou nevoeiro. A diferença desses casos para os outros é que a névoa úmida ocorreu antes do nevoeiro.

Para o caso do dia 07/06/2018, o METAR registrou névoa úmida entre os dois eventos e houve chuva após o segundo. Todos os cálculos fizeram previsão para ambos os nevoeiros e seguiram um padrão de visibilidade entre si. O PAFOG é eficaz para Maceió em dias com dois casos seguidos e também quando fenômenos adversos são registrados após o evento.

### ***Previsão do PAFOG para Recife.***

Os quatro cálculos das previsões feitas pelo PAFOG foram extremamente satisfatórios, pois previram nevoeiro curto, assim como foi observado.

### ***Previsão do PAFOG para Campina Grande.***

Quando o METAR não registrou outros fenômenos adversos, as previsões do PAFOG com 18 e 24h de antecedência são satisfatórias, como no caso de 21/03/2015. Só para os dias 26/02/2016 e 02/09/2019 o PAFOG calculou o nevoeiro em horário diferente do observado com 24h de antecedência, sendo 2016 com névoa úmida após e 2019 com névoa antes e chuva após o evento.

Para os casos de 03/05/2014 e ambos de 2018, que houve chuva durante os eventos e névoa úmida em momentos diferentes, a previsão do PAFOG foi muito satisfatória. Todas as previsões calcularam nevoeiro no horário observado. Os cálculos demonstraram ser mais eficazes nas previsões com 24 e 18h de antecedência quando fenômenos adversos distintos atuam em momentos diferentes, e pouco eficaz quando ocorrem ao mesmo tempo antecedendo o evento.

### ***Semelhanças Entre os Casos analisados com o PAFOG.***

Para Maceió e Campina Grande, a previsão do modelo PAFOG foi satisfatória com 12h e com 06h de antecedência para maior parte dos eventos. Os eventos que tiveram previsões satisfatórias com 24h e 18h de antecedência registraram outros fenômenos adversos.

O PAFOG sempre fez previsão com duração mais longa do que observado, acompanhando um padrão de visibilidade horizontal diurna e noturna.

### ***Análises com o PAFOG e FogVIS.***

O PAFOG e o FogVIS fizeram previsões muito eficazes para Maceió e Campina Grande. Previram valores de visibilidade horizontal dentro do observado. Quando o PAFOG previu nevoeiro intenso, o FogVIS indicou nevoeiro fraco com 24h e moderado com 18h de antecedência. Os modelos se aproximaram mais do valor observado na previsão de 18h.

O Fog SI indica alta possibilidade de ocorrência de nevoeiro quando a amplitude de visibilidade registrada pelo METAR é curta; e baixa possibilidade quando a amplitude de

visibilidade do observado é longa. Por coincidência, os casos de curta duração tiveram uma melhor previsão pelos modelos.

O Fog SI se mostrou mais coerente com previsões de 18h de antecedência, pois para os casos estudados indicou possibilidade alta ou moderada da ocorrência de nevoeiro.

Apenas para Recife os valores de visibilidade horizontal pelo modelo FogVIS eram diferentes do observado. Previu um nevoeiro intenso quando o observado foi fraco.

### ***Diferenças entre o PAFOG e o FogVIS.***

O PAFOG utiliza muitos dados e variáveis, o que gera resultados mais precisos. Porém, o FogVIS utiliza um menor número de dados de entrada em apenas duas equações e isso pode afetar a precisão dos resultados.

Tanto o software FogVIS quanto o modelo PAFOG demonstraram melhor eficiência para casos com menor amplitude da visibilidade horizontal observada registrado pelo código METAR. É possível afirmar que o software FogVIS auxilia uma previsão mais eficaz, podendo ser utilizado junto ao PAFOG para fazer uma previsão mais acurada.

Ambos, o modelo e o software, demonstraram melhor eficiência fazendo previsão com 18h de antecedência. O FogVIS fez excelentes previsões para Campina Grande e Maceió, portanto é favorável utilizá-lo nessas cidades.

### ***Considerações Finais.***

A altura máxima do nevoeiro em 400 m para as regiões extratropicais foi incluída no modelo PAFOG original. Com os resultados de vários estudos anteriores e, também, feitos neste trabalho, a altura máxima do nevoeiro foi ajustada para as condições locais de 1900m. Esta modificação permitiu que o modelo PAFOG calculou os resultados sem interrupção para muito mais casos.

Embora Maceió, Recife e Campina Grande sejam cidades muito próximas, com características climáticas similares, elas divergem em aspectos físico-atmosféricos. Os processos de formação de nevoeiro foram diferentes. Isso reafirma a necessidade de se desenvolver métodos de previsão específicos para cada localidade.

## 7 - REFERÊNCIAS

Afonso, João Maria de Sousa. Análise de Ocorrência de Nevoeiros e dos Resultados do Modelo de Previsão “PAFOG” Em Diferentes Regiões Climáticas Do Brasil. 2016. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió - AL, 2016.

Afonso, João Maria De Souza. Influência da vegetação na previsão de nevoeiros no Aeroporto Zumbi dos Palmares. TCC (Graduação) - Curso de Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

Aliton Oliveira Da Silva, Marcio Henrique Silveira, Natalia Fedorova, Vladimir Levit. Low Visibility Forecast For Maceio Airport By PAFOG Model. Meeting Of The Americas - Agu, Iguassu Falls, Brazil, 2010.

Bergot, T.; Carrer, D.; Noilhan, J.; Bougeault, P. Improved site-specific numerical prediction of fog and low clouds: A feasibility study. *Weather and Forecasting* 2005, 20.4, 627-646.

Bluestein, H. B. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Observations and Theory of Weather Systems. V.II. New York: Oxford University Press, 1993.

Bott, A.; Trautmann, T. PAFOG - A new efficient forecast model of radiation fog and low level stratiform clouds. *Atmospheric Research* 2002, 64, 191-203.

Byers, H.R. General Meteorology; McGraw-Hill Company: New York, United States, 1959.

Camila Oliveira, Davidson Melo, Gomes Muanza, Natalia Fedorova, and Vladimir Levit. Comparison Of Fog Forecast Results By PAFOG Model And Fog Identification By Satellite Data In Brazil. 8th International Conference On Fog, Fog Collection And Dew. Taipei, Taiwan, 14–19 July 2019, IFDA 2019-37, Abstract

Cavalcante, Lucas Carvalho Vieira. Análise das ligações dos ciclones tropicais do Hemisfério Norte e fenômenos adversos no NEB. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió - AL, 2018.

Cotton, W.R.; Anthes R.A. Storm and cloud dynamics, Vol. 44; Academic press: New York, United States, 1989; 884p.

Davidson Melo, Camila Oliveira, Gomes Muanza, Natalia Fedorova, And Vladimir Levit. Fog And Mist Forecast By The PAFOG Model At The Northeast Brazilian Airports. 8th International Conference On Fog, Fog Collection And Dew. Taipei, Taiwan, 14–19 July 2019, IFDA 2019-37, Abstract

Davidson Lima de Melo, Natalia Fedorova, Vladimir Levit. Análise de Casos de Nevoeiro nos Aeroportos do Nordeste Brasileiro. VIII SIC - Simpósio Internacional de Climatologia, 11-14 de Novembro de 2019, Belém - PA.

Fedorova, N.; Levit, V. Fog in the tropical region. Fog formation in the tropical region of the Northeast of Brazil. Lap Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, Germany, 2016; 82p.

Fedorova, N., Levit, V., Fedorov, D. Fog And Stratus Formation On The Coast Of Brazil, Atmospheric Research, 87, 2008, 268-278. ISSN: 0169-8095.

Fedorova, N., Rodrigues, L. R. L., Levit, V., Costa, S. B., Fog/Haze Forecasting By The Hysplit Model On The Northern Coast Of Brazil. Fourth International Conference On Fog, Fog Collection And Dew, La Serena, Chile, 2007, 41-44.

Franca, G.B.; Carmo, L.F.R.; Almeida, M.V.; Neto, F.L.A. Fog at the Guarulhos International Airport from 1951 to 2015. Pure and Applied Geophysics 2019, 176, 2191-2202.

Gomes, H.B.; Fedorova, N.; Levit, V. Rare events of stratus clouds on the northeast coast of Brazil. Revista Brasileira de Meteorologia, 2011, 26.1, 9-18.

Gultepe, I.; Sharman, R.; Williams, P.D.; Zhou, B.; Ellrod, G.; Minnis, P.; Trier, S.; Griffin, S.; Yum, S.S.; Gharabaghi, B.; Feltz, W.; Temimi, M.; Pu, Z.; Storer, L.N.; Kneringer, P.; Weston, M.J.; Chuang, H.; Thobois, L.; Dimri, A.P.; Dietz, S.J.; Franca, G.B.; Almeida, M.V.; Neto, F.L.A. A Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology. *Pure and Applied Geophysics* 2019, 176, 1869-1921.

Gultepe, I.; Tardie, R.; Michaelides, S.C.; Cermak, J.; Bott, A.; Bendix, J.; Muller, M.D.; Pacowski, M.; Hansen, B.; Ellrod, G.; Jacobs, W.; Toth, G.; Cober, S.G. Fog Research: A review of past achievements and future perspectives. *Pure and Applied Geophysics* 2007, 164, 1. 1121.

João Maria de Sousa Afonso, Natalia Fedorova, Vladimir Levit, Lianet Hernández Pardo. Estudo de Baixa Visibilidade no Aeroporto de Porto Alegre: Simulação Numérica Com O Modelo PAFOG". *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (Rica)* V10, N06, P 114-130, 2019. DOI: <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2019.006.0011>. ISSN: 2179-6858

João Pedro Gonçalves Nobre; Natalia Fedorova; Vladimir Levit; Alexandre Silva dos Santos & Matheus José Arruda Lyra. Nova Metodologia para Previsão de Eventos de Nevoeiro para o Aeroporto Zumbi dos Palmares em Maceió (Alagoas). *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, n. 3, 2019.

João Maria de Sousa Afonso, Vladimir Levit, Natalia Fedorova. Estudo de Baixa Visibilidade no Aeroporto de Porto Alegre: Processos Sinóticos e Termodinâmicos. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (Rica)*, V10, N06, P 131-145, 2019. DOI: <https://doi.org/10.6008/Cbpc2179-6858.2019.006.0012>. ISSN: 2179-6858.

João Pedro Gonçalves Nobre, Natalia Fedorova, Vladimir Levit, Alexandre Silva Dos Santos & Matheus José Arruda Lyra New Methodology For Evaluation Of The Fog Events For The Zumbi Dos Palmares Airport, Maceio, Alagoas. Nova Metodologia Para Previsão de Eventos de Nevoeiro Para O Aeroporto Zumbi Dos Palmares Em Maceió (Alagoas). Anuário do Instituto de Geociências – Ufrj, Vol. 42 – 3, P 527 – 535, 2019. DOI: [Http://Dx.doi.org/10.11137/2019\\_3\\_527\\_535](http://Dx.doi.org/10.11137/2019_3_527_535)

Kneringer, P.; Dietz, S.J.; Mayr, G.J.; Zeileis, A. Probabilistic nowcasting of low-visibility procedure states at Vienna International Airport during cold season. Pure and Applied Geophysics 2019, 176, 2165-2177.

Levit, V., Fedorova, N., Santos, D.M.B., Rodrigues, L. R. L., Costa, S. B., Santos, A.S. Visibility In Stratus Cloud Days On The Northern Coast Of Brazil Fourth International Conference On Fog, Fog Collection And Dew, La Serena, Chile, 2007, 81-84.

Luis Ricardo Lage Rodrigues; Natalia Fedorova; Vladimir Levit. Adverse Meteorological Phenomena Associated With Low Level Baric Troughs In The Alagoas State In 2003. Atmospheric Science Letters, DOI: 10.1002/Asl.273, 2010. ISSN: 1530-261x.

Melo, Davidson. Análise dos Processos Físicos da Formação do Nevoeiro e Névoa Úmida nos Aeroportos do NEB e Previsão Pelo Modelo PAFOG. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2018, Maceió - AL. Anais eletrônicos [...] Maceió - AL: UFAL, 2018. p. 205 - 213. Disponível em: [http://e3sys.com.br/cbmet2018.com.br/files/anais\\_cbmet\\_2018.pdf](http://e3sys.com.br/cbmet2018.com.br/files/anais_cbmet_2018.pdf). Acesso em: 11 fev. 2022.

Molion, L.C.B; Bernardo, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia 2002, 17.1, 1-10.

Natalia Fedorova, Aliton Oliveira Da Silva, Vladimir Levit, Evanilson Vicente Dos Santos. Dangerous Fog Analyses And Forecast In The Maceio Airport, Brazil, 5th International Conference On Fog, Fog Collection And Dew, Munster, Alemanha, P.7-10, 2010

Natalia Fedorova, Aliton Oliveira Da Silva, Vladimir Levit, Evanilson Vicente Dos Santos. Nevoeiro Provoca Grave Acidente no Aeroporto de Maceió, Alagoas. XIII Congresso Latinoamericano e Iberico de Meteorologia (Climet XIII), X Congreso Argentino de Meteorologia (Congremet X), Buenos Aires, Argentina, 2009.

Natalia Fedorova; Vladimir Levit; Aliton Oliveira Da Silva; Deydila Michele Bonfim Dos Santos. Low Visibility Formation And Forecasting On The Northern Coast Of Brazil. Pure And Applied Geophysics, V 170, Issue 4 (2013), P 689-709, 2012. DOI 10.1007/S00024-012-0565-6. ISSN 0033-4553.

Natalia Fedorova, Vladimir Levit. Fog In The Tropical Region. Fog Formation In The Tropical Region Of The Northeast Of Brazil. Lap Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2016, 82p. ISBN 978-3-659-87098-9

Natalia Fedorova, Vladimir Levit, José Leonaldo de Souza, Aliton Oliveira Silva, Joao M. Sousa Afonso, Iedo Teodoro. Fog Events At Maceio Airport On The Northern Coast Of Brazil During 2002–2005 And 2007. Pure And Applied Geophysics, 2015, V172, P 2727-2749. DOI 10.1007/S00024-014-1027-0. ISSN: 0033-4553

Natalia Fedorova, Vladimir Levit, Lucas Carvalho Vieira Cavalcante. Impacts Of The Tropical Cyclones In The Northern Atlantic On Adverse Phenomena Formation In The Northeast Brazil. In the book: "Current Topics in Tropical Cyclone Research.". IntechOpen, London, United Kingdom, 2020, DOI: 10.5772/intechopen.88804

Nobre, J. P. G., Gomes, H. B., Fedorova, N., Silva, M. C. L. Da, Pinto, D. D. C., & Lyra, M. J. A. (2020). Previsão de Nevoeiro Para O Aeroporto de Maceió Usando O Modelo BRAMS. revista de Geociências Do Nordeste, 6 (2), 276-282, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n2id22864>. ISSN: 2447-3359

Oliveira, V. M., Fedorova N., Conditions For Fog Formation In The South Coast Of Brazil. In: First International Conference On Fog & Fog Collection. Canada, Vancouver, V.1. P. 233-236, 1998.

Petterson, S. Weather analysis and forecasting: Motion and motion systems; McGraw-Hill Company: New York, United States, 1956; 428p.

Piva, E.D.; Fedorova, N. Um Estudo sobre a formação de nevoeiro de radiação em Porto Alegre. Revista Brasileira de Meteorologia 1999, 14.2, 47-62.

Pontes Da Silva, B. F., Fedorova, N., Levit, V., Peresetsky, A., Brito, B. M. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 26, p. 295-310, 2011.

Ratisbona, L.R. The climate of Brazil. Climates of Central and South America, v. 12; Elsevier: Amsterdam, Netherlands, 1976; pp. 219-293.

REDEMET. Decodificação do código METAR. Disponível em:

<<https://www.redemet.aer.mil.br/?i=facilidades&p=decodificacao-metar>>. Acesso em: 18 de ago. 2018.

Siebert, J.; Bott, A.; Zdunkowski, W. Influence of a vegetation-soil model on the simulation of radiation fog. Beitrage zur Physik der Atmosphaere. 1992, 65, 93-106.

Varejão-Silva, M. A.; Meteorologia e Climatologia, Versão Digital 2, Recife, 2006  
<<Varejão-Silva, Meteorologia e Climatologia>>

Virginia Piccinini Silveira. Análise Dos Casos de Nevoeiro e Nuvens Stratus Na Cidade Maceió, Alagoas no Ano de 1996. 2003. UFAL, Dissertação de Mestrado.

Vladair Morales de Oliveira. Condições Para Formação de Nevoeiro Em Pelotas. 1998. Universidade Federal de Pelotas - Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado.

Willet, H.C. Fog and haze, their causes, distribution and forecasting. Monthly Weather Review 1928, 56, 435-46.

## APÊNDICE 1

*Tabela dos 32 casos de Maceió - AL. Fonte: Código METAR - REDEMET.*

| <b>Caso</b> | <b>Data</b> | <b>Hora (UTC)</b> | <b>Duração (h)</b> | <b>Visib. (m)</b> | <b>Intensidade</b> | <b>Temp. do Ar / P. de Orv. (°C)</b> |
|-------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 1           | 25/01/2008  | 8:25              | 0:35               | 40                | Intenso            | 22 / 22                              |
| 2           | 06/05/2008  | 8:32              | 1:28               | 800               | Fraco              | 22 / 22                              |
| 3           | 21/05/2008  | 9:00              | 1:00               | 900               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 4           | 05/06/2008  | 5:32              | 0:28               | 900               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 5           | 11/06/2008  | 8:20              | 0:40               | 400               | Moderado           | 19 / 19                              |
| 6           | 23/06/2008  | 1:30              | 4:30               | 50                | Intenso            | 21 / 21                              |
| 7           | 03/08/2008  | 5:00              | 1:00               | 900               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 8           | 03/08/2008  | 9:45              | 1:15               | 800               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 9           | 10/09/2008  | 6:00              | 1:00               | 400               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 10          | 12/05/2009  | 6:30              | 0:30               | 300               | Moderado           | 23 / 23                              |
| 11          | 08/06/2009  | 3:11              | 0:49               | 900               | Fraco              | 22 / 22                              |
| 12          | 17/06/2009  | 2:06              | 0:54               | 800               | Fraco              | 22 / 22                              |
| 13          | 24/06/2009  | 6:10              | 0:50               | 900               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 14          | 16/07/2009  | 6:00              | 2:00               | 600               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 15          | 05/05/2010  | 7:00              | 3:00               | 300               | Moderado           | 23 / 23                              |
| 16          | 11/06/2010  | 4:20              | 3:40               | 200               | Moderado           | 20 / 20                              |
| 17          | 17/06/2011  | 9:09              | 0:51               | 800               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 18          | 07/07/2011  | 4:25              | 0:35               | 900               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 19          | 08/07/2011  | 4:00              | 2:00               | 500               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 20          | 08/07/2011  | 7:32              | 1:28               | 500               | Moderado           | 21 / 20                              |
| 21          | 07/03/2012  | 8:28              | 2:32               | 0                 | Intenso            | 23 / 23                              |
| 22          | 27/06/2014  | 1:25              | 1:35               | 700               | Fraco              | 20 / 19                              |
| 23          | 19/07/2014  | 0:30              | 0:30               | 500               | Moderado           | 19 / 18                              |
| 24          | 02/06/2016  | 5:20              | 0:40               | 600               | Fraco              | 23 / 23                              |
| 25          | 03/06/2017  | 6:35              | 1:25               | 600               | Fraco              | 22 / 22                              |
| 26          | 07/06/2018  | 4:25              | 2:35               | 500               | Moderado           | 22 / 21                              |
| 27          | 07/06/2018  | 9:00              | 1:00               | 500               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 28          | 30/07/2019  | 5:17              | 0:43               | 500               | Moderado           | 21 / 20                              |
| 29          | 29/03/2020  | 7:00              | 1:00               | 900               | Fraco              | 24 / 24                              |
| 30          | 30/08/2020  | 23:40             | 0:20               | 800               | Fraco              | 22 / 22                              |
| 31          | 15/09/2020  | 5:00              | 1:00               | 800               | Fraco              | 20 / 20                              |
| 32          | 15/09/2020  | 5:05              | 0:55               | 200               | Moderado           | 20 / 20                              |

*Tabela dos 185 casos de Campina Grande - PB. Fonte: Código METAR - REDEMET.*

| <b>Caso</b> | <b>Data</b> | <b>Hora (UTC)</b> | <b>Duração (h)</b> | <b>Visib. (m)</b> | <b>Intensidade</b> | <b>Temp. do Ar / P. de Orv. (°C)</b> |
|-------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 1           | 08/02/2008  | 8:15              | 0:45               | 900               | Fraco              | 22 / 21                              |
| 2           | 13/02/2008  | 9:00              | 1:00               | 300               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 3           | 22/03/2008  | 9:15              | 0:45               | 150               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 4           | 14/04/2008  | 9:15              | 0:45               | 0                 | Intenso            | 21 / 21                              |
| 5           | 19/04/2008  | 3:00              | 1:00               | 200               | Moderado           | 22 / 22                              |
| 6           | 28/04/2008  | 2:00              | 1:00               | 800               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 7           | 03/05/2008  | 9:15              | 1:45               | 100               | Intenso            | 20 / 20                              |
| 8           | 03/05/2008  | 10:20             | 0:40               | 800               | Fraco              | 20 / 20                              |
| 9           | 07/05/2008  | 2:15              | 1:45               | 0                 | Intenso            | 24 / 24                              |
| 10          | 09/05/2008  | 23:00             | 1:00               | 0                 | Intenso            | 22 / 22                              |
| 11          | 10/06/2008  | 10:00             | 1:00               | 500               | Moderado           | 20 / 20                              |
| 12          | 23/06/2008  | 3:00              | 1:00               | 150               | Moderado           | 20 / 20                              |
| 13          | 23/06/2008  | 9:15              | 0:45               | 500               | Moderado           | 19 / 19                              |
| 14          | 18/07/2008  | 9:15              | 0:45               | 500               | Moderado           | 20 / 20                              |
| 15          | 04/08/2008  | 9:30              | 0:30               | 500               | Moderado           | 20 / 20                              |
| 16          | 24/09/2008  | 9:15              | 0:45               | 900               | Fraco              | 20 / 20                              |
| 17          | 15/02/2009  | 9:15              | 0:45               | 50                | Intenso            | 22 / 22                              |
| 18          | 18/03/2009  | 9:15              | 0:45               | 200               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 19          | 28/04/2009  | 9:15              | 0:45               | 500               | Moderado           | 23 / 23                              |
| 20          | 07/05/2009  | 9:15              | 0:45               | 500               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 21          | 17/05/2009  | 9:15              | 0:45               | 500               | Moderado           | 22 / 22                              |
| 22          | 27/05/2009  | 3:00              | 1:00               | 500               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 23          | 27/05/2009  | 9:15              | 0:45               | 50                | Intenso            | 20 / 20                              |
| 24          | 03/06/2009  | 9:15              | 0:45               | 300               | Moderado           | 20 / 20                              |
| 25          | 03/06/2009  | 10:00             | 1:00               | 800               | Fraco              | 21 / 21                              |
| 26          | 20/08/2009  | 9:15              | 0:45               | 250               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 27          | 21/08/2009  | 1:00              | 3:00               | 300               | Moderado           | 21 / 20                              |
| 28          | 23/08/2009  | 2:00              | 2:00               | 500               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 29          | 06/09/2009  | 9:15              | 1:45               | 500               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 30          | 17/09/2009  | 9:15              | 0:45               | 500               | Moderado           | 20 / 20                              |
| 31          | 21/08/2010  | 19:10             | 0:30               | 0                 | Intenso            | 21 / 21                              |
| 32          | 15/03/2011  | 9:15              | 0:45               | 50                | Intenso            | 21 / 21                              |
| 33          | 17/06/2011  | 00:35             | 1:30               | 50                | Intenso            | 20 / 20                              |
| 34          | 31/07/2011  | 1:00              | 1:00               | 500               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 35          | 01/08/2011  | 3:00              | 1:00               | 500               | Moderado           | 21 / 21                              |
| 36          | 03/08/2011  | 9:15              | 1:45               | 0                 | Intenso            | 18 / 18                              |

|    |            |       |      |     |          |         |
|----|------------|-------|------|-----|----------|---------|
| 37 | 19/11/2011 | 7:20  | 1:40 | 800 | Fraco    | 20 / 20 |
| 38 | 09/12/2011 | 8:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 39 | 10/01/2012 | 8:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 40 | 31/01/2012 | 4:30  | 0:30 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 41 | 07/01/2012 | 7:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 42 | 28/02/2012 | 3:45  | 1:15 | 800 | Fraco    | 21 / 21 |
| 43 | 16/04/2012 | 7:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 44 | 29/05/2012 | 3:15  | 0:45 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 45 | 29/05/2012 | 8:40  | 0:20 | 500 | Moderado | 22 / 21 |
| 46 | 01/06/2012 | 5:39  | 1:20 | 700 | Fraco    | 20 / 20 |
| 47 | 05/06/2012 | 3:15  | 0:45 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 48 | 28/06/2012 | 9:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 49 | 10/07/2012 | 4:12  | 0:48 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 50 | 14/07/2012 | 4:00  | 6:00 | 300 | Moderado | 20 / 20 |
| 51 | 16/08/2012 | 9:10  | 0:50 | 500 | Moderado | 20 / 19 |
| 52 | 22/09/2012 | 9:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 20 / 20 |
| 53 | 11/10/2012 | 4:00  | 3:00 | 200 | Moderado | 20 / 20 |
| 54 | 24/05/2013 | 4:15  | 2:45 | 150 | Moderado | 22 / 22 |
| 55 | 26/05/2013 | 6:00  | 1:00 | 100 | Intenso  | 22 / 22 |
| 56 | 27/05/2013 | 6:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 22 / 22 |
| 57 | 04/06/2013 | 4:00  | 3:00 | 200 | Moderado | 21 / 21 |
| 58 | 14/06/2013 | 9:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 59 | 21/06/2013 | 23:00 | 1:00 | 900 | Fraco    | 21 / 21 |
| 60 | 12/07/2013 | 5:10  | 0:50 | 100 | Intenso  | 20 / 20 |
| 61 | 13/07/2013 | 3:10  | 0:50 | 900 | Fraco    | 21 / 21 |
| 62 | 20/07/2013 | 8:00  | 1:00 | 600 | Fraco    | 18 / 18 |
| 63 | 25/07/2013 | 6:00  | 1:00 | 250 | Moderado | 21 / 21 |
| 64 | 25/07/2013 | 9:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 65 | 26/07/2013 | 3:25  | 5:35 | 100 | Intenso  | 19 / 19 |
| 66 | 30/07/2013 | 8:00  | 2:00 | 500 | Moderado | 16 / 16 |
| 67 | 06/08/2013 | 9:00  | 1:00 | 300 | Moderado | 19 / 19 |
| 68 | 14/09/2013 | 2:20  | 3:40 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 69 | 14/09/2013 | 8:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 70 | 17/09/2013 | 4:15  | 0:45 | 900 | Fraco    | 19 / 19 |
| 71 | 01/10/2013 | 8:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 19 / 19 |
| 72 | 06/10/2013 | 8:30  | 0:30 | 700 | Fraco    | 20 / 20 |
| 73 | 14/10/2013 | 6:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 74 | 20/10/2013 | 7:00  | 2:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |

|     |            |       |      |     |          |         |
|-----|------------|-------|------|-----|----------|---------|
| 75  | 06/11/2013 | 5:00  | 1:00 | 400 | Moderado | 21 / 21 |
| 76  | 01/03/2014 | 7:12  | 0:48 | 900 | Fraco    | 22 / 22 |
| 77  | 15/03/2014 | 2:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 22 / 22 |
| 78  | 15/03/2014 | 5:30  | 1:30 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 79  | 07/04/2014 | 7:18  | 0:42 | 400 | Moderado | 22 / 22 |
| 80  | 08/04/2014 | 8:38  | 0:22 | 800 | Fraco    | 22 / 22 |
| 81  | 11/04/2014 | 8:40  | 0:20 | 900 | Fraco    | 23 / 23 |
| 82  | 14/04/2014 | 7:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 22 / 22 |
| 83  | 03/05/2014 | 9:00  | 1:00 | 200 | Moderado | 21 / 21 |
| 84  | 23/05/2014 | 4:30  | 3:30 | 400 | Moderado | 22 / 22 |
| 85  | 08/06/2014 | 3:00  | 1:00 | 100 | Intenso  | 21 / 21 |
| 86  | 28/06/2014 | 6:15  | 0:45 | 800 | Fraco    | 19 / 19 |
| 87  | 20/09/2014 | 4:00  | 4:00 | 300 | Moderado | 19 / 19 |
| 88  | 22/09/2014 | 6:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 20 / 20 |
| 89  | 22/09/2014 | 7:00  | 3:00 | 100 | Intenso  | 20 / 20 |
| 90  | 30/10/2014 | 8:00  | 1:00 | 750 | Fraco    | 20 / 20 |
| 91  | 05/11/2014 | 8:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 20 / 20 |
| 92  | 09/01/2015 | 6:30  | 0:30 | 600 | Fraco    | 18 / 18 |
| 93  | 03/01/2015 | 7:00  | 1:00 | 400 | Moderado | 18 / 18 |
| 94  | 13/03/2015 | 7:00  | 2:00 | 500 | Moderado | 22 / 22 |
| 95  | 21/03/2015 | 3:15  | 3:45 | 200 | Moderado | 22 / 21 |
| 96  | 20/04/2015 | 8:20  | 1:40 | 400 | Moderado | 22 / 21 |
| 97  | 05/07/2015 | 3:15  | 1:45 | 900 | Fraco    | 22 / 21 |
| 98  | 06/07/2015 | 00:15 | 0:45 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 99  | 13/07/2015 | 6:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 20 / 20 |
| 100 | 15/08/2015 | 3:00  | 7:00 | 300 | Moderado | 20 / 20 |
| 101 | 21/08/2015 | 4:20  | 1:40 | 800 | Fraco    | 21 / 20 |
| 102 | 04/10/2015 | 7:50  | 1:10 | 500 | Moderado | 19 / 19 |
| 103 | 19/10/2015 | 8:48  | 0:12 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 104 | 13/01/2016 | 6:32  | 0:28 | 900 | Fraco    | 22 / 21 |
| 105 | 11/02/2016 | 5:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 106 | 19/02/2016 | 8:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 22 / 22 |
| 107 | 26/02/2016 | 3:00  | 3:00 | 50  | Intenso  | 22 / 21 |
| 108 | 13/05/2016 | 5:15  | 1:45 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 109 | 18/05/2016 | 2:15  | 1:45 | 50  | Intenso  | 22 / 21 |
| 110 | 19/05/2016 | 4:00  | 1:00 | 50  | Intenso  | 21 / 21 |
| 111 | 05/06/2016 | 2:15  | 2:45 | 500 | Moderado | 22 / 22 |
| 112 | 07/06/2016 | 9:00  | 1:00 | 50  | Intenso  | 21 / 21 |

|     |            |       |      |     |          |         |
|-----|------------|-------|------|-----|----------|---------|
| 113 | 18/07/2016 | 6:15  | 0:45 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 114 | 15/08/2015 | 9:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 115 | 21/08/2015 | 4:20  | 1:40 | 800 | Fraco    | 21 / 20 |
| 116 | 04/10/2015 | 7:50  | 1:10 | 500 | Moderado | 19 / 19 |
| 117 | 19/10/2015 | 8:48  | 0:12 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 118 | 16/01/2016 | 6:32  | 0:28 | 900 | Fraco    | 22 / 21 |
| 119 | 11/02/2016 | 5:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 120 | 19/02/2016 | 8:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 22 / 22 |
| 121 | 26/02/2016 | 3:00  | 3:00 | 50  | Intenso  | 22 / 21 |
| 122 | 13/05/2016 | 5:15  | 1:45 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 123 | 18/05/2016 | 2:15  | 1:45 | 50  | Intenso  | 21 / 21 |
| 124 | 19/05/2016 | 4:00  | 1:00 | 50  | Intenso  | 21 / 21 |
| 125 | 05/06/2016 | 2:15  | 2:45 | 500 | Moderado | 22 / 22 |
| 126 | 07/06/2016 | 9:00  | 1:00 | 50  | Intenso  | 21 / 21 |
| 127 | 18/07/2016 | 6:15  | 0:45 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 128 | 29/03/2017 | 8:25  | 0:35 | 400 | Moderado | 22 / 21 |
| 129 | 16/04/2017 | 8:13  | 1:47 | 250 | Moderado | 22 / 21 |
| 130 | 09/05/2017 | 1:00  | 3:00 | 100 | Intenso  | 22 / 22 |
| 131 | 16/05/2017 | 8:00  | 2:00 | 450 | Moderado | 21 / 21 |
| 132 | 03/06/2017 | 2:12  | 1:48 | 400 | Moderado | 22 / 22 |
| 133 | 08/06/2017 | 7:16  | 1:44 | 100 | Intenso  | 21 / 21 |
| 134 | 01/07/2017 | 2:15  | 0:45 | 500 | Moderado | 22 / 21 |
| 135 | 22/07/2017 | 2:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 136 | 05/08/2017 | 4:00  | 2:00 | 900 | Fraco    | 20 / 19 |
| 137 | 02/10/2017 | 8:00  | 2:00 | 500 | Moderado | 20 / 20 |
| 138 | 22/10/2017 | 5:00  | 2:00 | 500 | Moderado | 21 / 20 |
| 139 | 16/02/2018 | 8:00  | 1:00 | 300 | Moderado | 21 / 21 |
| 140 | 18/02/2018 | 8:18  | 1:42 | 900 | Fraco    | 21 / 21 |
| 141 | 19/02/2018 | 2:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 22 / 22 |
| 142 | 21/02/2018 | 7:00  | 2:00 | 250 | Moderado | 22 / 21 |
| 143 | 28/02/2018 | 23:30 | 0:30 | 750 | Fraco    | 22 / 21 |
| 144 | 10/03/2018 | 9:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 22 / 22 |
| 145 | 02/04/2018 | 3:18  | 1:42 | 500 | Moderado | 22 / 22 |
| 146 | 08/04/2018 | 9:40  | 0:20 | 900 | Fraco    | 22 / 22 |
| 147 | 14/04/2018 | 2:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 22 / 22 |
| 148 | 14/04/2018 | 7:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 21 / 21 |
| 149 | 22/04/2018 | 23:00 | 1:00 | 100 | Intenso  | 22 / 22 |
| 150 | 24/04/2018 | 5:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 22 / 22 |

|     |            |       |      |     |          |         |
|-----|------------|-------|------|-----|----------|---------|
| 151 | 13/05/2018 | 4:00  | 1:00 | 500 | Moderado | 21 / 21 |
| 152 | 20/05/2018 | 6:25  | 2:35 | 50  | Intenso  | 20 / 20 |
| 153 | 07/06/2018 | 8:20  | 0:40 | 800 | Fraco    | 21 / 21 |
| 154 | 09/06/2018 | 8:15  | 1:45 | 100 | Intenso  | 19 / 19 |
| 155 | 12/06/2018 | 7:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 18 / 18 |
| 156 | 19/06/2018 | 4:00  | 3:00 | 100 | Intenso  | 20 / 20 |
| 157 | 11/07/2018 | 3:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 20 / 20 |
| 158 | 11/08/2018 | 8:20  | 1:40 | 200 | Moderado | 19 / 19 |
| 159 | 14/08/2018 | 6:00  | 3:00 | 750 | Fraco    | 20 / 20 |
| 160 | 21/08/2018 | 11:30 | 1:30 | 800 | Fraco    | 20 / 20 |
| 161 | 06/09/2018 | 8:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 19 / 19 |
| 162 | 11/10/2018 | 7:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 20 / 19 |
| 163 | 22/10/2018 | 8:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 21 / 20 |
| 164 | 30/11/2018 | 8:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 21 / 21 |
| 165 | 28/02/2019 | 6:28  | 0:32 | 500 | Moderado | 22 / 22 |
| 166 | 01/03/2019 | 8:00  | 2:00 | 500 | Moderado | 22 / 22 |
| 167 | 02/04/2019 | 9:00  | 1:00 | 50  | Intenso  | 21 / 21 |
| 168 | 10/04/2019 | 5:00  | 3:00 | 500 | Moderado | 22 / 22 |
| 169 | 14/04/2019 | 1:00  | 1:00 | 50  | Intenso  | 23 / 22 |
| 170 | 19/04/2019 | 4:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 23 / 22 |
| 171 | 01/07/2019 | 11:20 | 0:40 | 900 | Fraco    | 21 / 21 |
| 172 | 04/07/2019 | 4:00  | 1:00 | 400 | Moderado | 21 / 21 |
| 173 | 04/07/2019 | 6:00  | 2:00 | 900 | Fraco    | 21 / 21 |
| 174 | 07/07/2019 | 5:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 20 / 20 |
| 175 | 18/08/2019 | 9:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 19 / 19 |
| 176 | 20/08/2019 | 3:15  | 0:45 | 400 | Moderado | 20 / 20 |
| 177 | 20/08/2019 | 7:00  | 1:00 | 900 | Fraco    | 19 / 19 |
| 178 | 02/09/2019 | 4:00  | 3:00 | 200 | Moderado | 20 / 20 |
| 179 | 04/09/2019 | 7:00  | 2:00 | 300 | Moderado | 19 / 19 |
| 180 | 14/09/2019 | 4:00  | 4:00 | 100 | Intenso  | 19 / 19 |
| 181 | 28/10/2019 | 8:00  | 1:00 | 400 | Moderado | 20 / 20 |
| 182 | 29/11/2019 | 8:00  | 2:00 | 400 | Moderado | 21 / 20 |
| 183 | 18/03/2020 | 9:00  | 1:00 | 800 | Fraco    | 23 / 22 |
| 184 | 13/07/2020 | 9:15  | 0:45 | 500 | Moderado | 17 / 16 |
| 185 | 14/10/2020 | 9:15  | 0:45 | 500 | Moderado | 20 / 19 |

