

Estudo de baixa visibilidade no aeroporto de Porto Alegre: processos sinóticos e termodinâmicos

O nevoeiro é um fenômeno associado a redução da visibilidade, causando prejuízos em diversos sectores socioeconômicos no estado do Rio Grande do Sul, influenciando principalmente no encerramento das atividades aeroportuárias. Os objetivos principais são: 1) classificar os tipos de nevoeiros em Porto Alegre em um período de 2 anos (2008-2009) a partir da análise dos processos sinóticos e termodinâmicos e 2) avaliar o comportamento de produtos de reanálise do NCEP, reanálise (CFSR-1) e previsão (CFSR-2) do CFSR nas situações de formação de nevoeiro de radiação. Variáveis meteorológicas da estação de superfície do aeroporto foram utilizadas para: 1) o estudo de frequência de nevoeiros e 2) a análise das condições de formação dos nevoeiros. Os sistemas sinóticos atuantes durante os eventos de nevoeiros foram analisados utilizando diversos produtos de reanálise do NCEP e do CFSR e imagens de satélite GOES-12. As condições termodinâmicas foram analisadas usando dados de radiossondagem e perfis plotados com o produto CFSR-1 e CFSR-2. Foram encontrados 82 casos de nevoeiros com duração entre 10 minutos e 11 horas, ocorrendo principalmente no outono e no inverno. Um único caso ocorreu com chuva. A análise sinótica foi elaborada para os 23 casos que ocorreram no horário de observação de radiossondagem. O estudo dos processos sinóticos mostrou que 13 eventos foram nevoeiros de radiação e 10 frontais. Os perfis do CFSR-1 mostraram camada úmida entre 1000-950hPa, com umidade de 86-89%. Os perfis do CFSR-2 mostraram camada úmida entre a altura 2m até o nível de 950hPa com umidade de 80-96.9%. No geral, os perfis de toda a troposfera acima desses níveis foram típicos para os casos de nevoeiros radiação, com baixa umidade e inversões de subsidência. Concluímos que 1) a situação sinótica foi apresentada semelhante pelo NCEP e o CFSR, 2) os perfis do CFSR mostram a estrutura da troposfera típica para os eventos de nevoeiro de radiação, excluindo a camada superficial.

Palavras-chave: Nevoeiro de Radiação; Nevoeiro Frontal; Modelo CFSR.

Low visibility study at Porto Alegre airport, Brazil: synoptic and thermodynamic processes


Fog is a phenomenon associated with reduced visibility, causing damage to various socioeconomic sectors in the Rio Grande do Sul state, mainly influencing the airport shutdown. The main objectives of the paper are: 1) to classify fog types in Porto Alegre for 2 years (2008-2009) using analysis of the synoptic and thermodynamic processes and 2) to evaluate the behavior of reanalysis products of the NCEP, reanalysis (CFSR-1) and analysis (CFSR-2) in situations of radiation fog formation. Meteorological variables of the airport surface station were used for: 1) fog frequency study and 2) analysis of a fog formation conditions. Synoptic systems acting during fog events were analyzed using various NCEP and CFSR reanalysis products and satellite imagery. Thermodynamic conditions have been analyzed using radiosonde data and profiles plotted by the CFSR-1 and CFSR-2. Eighty-two fog cases lasting between 10 minutes and 11 hours were found, occurring mainly in autumn and winter. Only one case occurred with rain. Synoptic analysis was elaborated for 23 cases that occurred during the radiosonde observation time. The study of synoptic processes showed that 13 events were radiation fog and 10 frontal fog. CFSR-1 reanalysis profiles showed a wet layer 1000-950hPa, with a humidity of 86-89%. CFSR-2 reanalysis profiles showed a wet layer between 2m height at 950hPa level with a humidity of 80-96.9%. In general, the profiles in the entire troposphere above this levels were typical for the low humidity radiation fog cases, with low humidity and subsidence Inversion. It was concluded that 1) the synoptic situation was presented similar by the NCEP and CFSR, 2) the CFSR profiles show the typical troposphere structure for radiation fog events, excluding surface layer.

Keywords: Radiation Fog; Frontal Fog; CFSR model.


Topic: **Meteorologia, Climatologia e Mudanças Climáticas**

Received: **02/10/2019**
Approved: **26/11/2019**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

João Maria de Sousa Afonso 
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4114434960992264>
<http://orcid.org/0000-0002-9506-4642>
joaoafonso19@gmail.com

Vladimir Levit
Universidade Federal de Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/1231943260451104>
vladimirle@gmail.com

Natalia Fedorova 
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6240947588482690>
<http://orcid.org/0000-0002-4154-6830>
nataliabras@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0012

Referencing this:

AFONSO, J. M. S.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N.. Estudo de baixa visibilidade no aeroporto de Porto Alegre: processos sinóticos e termodinâmicos. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.10, n.6, p.131-145, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0012>

INTRODUÇÃO

Os nevoeiros são muito frequentes no sul do Brasil (TUBELIS et al., 1970). Mesmo sendo fenômenos que ocorrem em condições de atmosfera estável (PETERSSEN, 1940) os nevoeiros causam prejuízos em diversos sectores socioeconômicos, por reduzir a visibilidade a menos de 1km. No estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, o transporte rodoviário é afetado frequentemente, enquanto o porto Rio Grande é fechado por longos períodos devido a esses fenômenos. Além disso, os atrasos das partidas/chegadas e os cancelamentos de voos no aeroporto internacional Salgado Filho, em Porto Alegre, são umas das consequências mais relevantes da ocorrência de nevoeiros em Rio Grande do Sul.

Em um período de 11 anos (2004 a 2014) foram registradas 1.117 horas e 36 minutos de operações interrompidas no aeroporto Salgado Filho, a maioria delas em razão dos nevoeiros. Destacam-se os anos 2008 e 2009, em que o aeroporto esteve totalmente fechado por 197 horas e 18 minutos, e por 136 horas e 23 minutos, respectivamente. Em 2013, o governo de Porto Alegre investiu R\$ 40 milhões na instalação do sistema ILS (*Instrument Landing System*) no aeroporto Salgado Filho, com o intuito de ampliar a capacidade operacional em dias de nevoeiro. Mesmo assim, nevoeiros intensos continuam a provocar o fechamento do aeroporto por conta da restrição do equipamento em operar com visibilidade horizontal mínima de 350 metros.

Estudos de ocorrência de nevoeiros e sua formação têm sido desenvolvidos durante o último século. Um dos primeiros estudos importantes dos processos físicos de formação e classificação de tipos de nevoeiros foi desenvolvido por Willet (1928), que distinguiu os nevoeiros de massas de ar dos frontais. Os nevoeiros dentro de uma massa de ar podem ocorrer em qualquer parte do mundo, sobre superfícies marítima e terrestre (WILLET, 1928; CABRAL, 1998; OLIVEIRA, 2002; LIMA, 1982), mas especialmente os de radiação são mais frequentes em regiões litorâneas ou nas proximidades de lagos (WILLET, 1928; GEORGE, 1951). Por ter pequenas dimensões espaciais (WILLET, 1928), este tipo de nevoeiro é mais difícil de prever.

Lima (1982) foi o pioneiro no estudo sobre nevoeiro de radiação em Porto Alegre. Ele desenvolveu uma metodologia para a previsão de nevoeiro em Porto Alegre e verificou que existe a possibilidade de ocorrência de nevoeiro de radiação quando: a direção e velocidade do vento às 19h forem, respectivamente, de leste ou sudeste, com intensidade abaixo de 1,4 m/s; a temperatura do ar variar entre 16°C e 22°C; e o déficit da temperatura do ponto de orvalho for menor que 1°C. Ainda no mesmo estudo, Lima (1982) encontrou perfis verticais de temperatura e de umidade que se caracterizaram por uma camada úmida ($T-T_d < 6^\circ\text{C}$) abaixo de 750hPa, e acima uma camada seca ($T-T_d > 6^\circ\text{C}$).

Piva et al. (1999) no estudo de nevoeiro de radiação em Porto Alegre determinaram dois tipos de perfis verticais de temperatura e umidade, que foram separados de acordo com: 1) profundidade e intensidade da inversão na camada à superfície (até 950hPa); 2) camada úmida em baixos níveis; 3) camada seca em médios e altos níveis; e 4) velocidade do vento da superfície até 1000hPa.

A inversão térmica é uma evidência do resfriamento radiativo noturno da superfície terrestre. Durante a noite, na ausência de nuvens, o resfriamento da superfície é favorecido, pois há perda de energia

para o espaço. Esse resfriamento é mais acentuado quando as camadas acima da superfície se apresentam relativamente secas, diminuindo a absorção pelo vapor d'água (PIVA et al., 1999).

Os perfis verticais de temperatura, de umidade e de vento permitiram a caracterização de duas situações típicas, como: 1) *Inversão*; forte inversão, com gradiente vertical de temperatura de $-1,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ e com diferença de temperatura entre o topo e a base da inversão de $8,5^{\circ}\text{C}$ é observada no primeiro tipo de perfil, enquanto que o segundo tipo de perfil apresenta inversão fraca, com gradiente vertical igual a $-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ e a diferença de temperatura entre a base e o topo de $1,5^{\circ}\text{C}$. 2) *Camada úmida*. O primeiro tipo de perfil, apresentou uma camada úmida que se estendeu da superfície até o nível de 996hPa, com déficit médio da temperatura do ponto de orvalho de $3,2^{\circ}\text{C}$. Para o segundo tipo de perfil, a camada apresentou-se um pouco mais úmida, com déficit médio da temperatura do ponto de orvalho igual, em média, a $2,7^{\circ}\text{C}$, e com maior profundidade, ou seja, estendeu-se até 908hPa. Na superfície, o déficit médio da temperatura do ponto de orvalho foi $1,2^{\circ}\text{C}$ para o primeiro tipo a e $0,3^{\circ}\text{C}$ para o segundo. 3) *Camada seca*. Para o primeiro tipo, a camada seca se estendeu até altos níveis com o déficit médio da temperatura do ponto de orvalho em média igual a $15,5^{\circ}\text{C}$. O segundo tipo apresentou camadas muito secas, com o déficit médio da temperatura do ponto de orvalho em média igual a $29,3^{\circ}\text{C}$, e camadas mais úmidas intercaladas, com o déficit médio da temperatura do ponto de orvalho em média igual a $9,0^{\circ}\text{C}$. 4) *Velocidade do vento até 1000hPa*. Para o primeiro tipo, são observadas velocidades inferiores a $2,0\text{m/s}$ na troposfera e na superfície entre $1-1,5\text{m/s}$. Para o segundo tipo, são observadas velocidades inferiores a 1 m/s e calmaria na superfície.

Os sistemas sinóticos que influenciam nas condições de tempo no sul do Brasil foram apresentados por Satyamurty et al. (1998), Fedorova (2008), Velasco et al. (1987), são os seguintes: 1) Ciclones e anticiclones baroclínicos, 2) Sistemas frontais, 3) Ciclone barotrópico de Chaco, 4) Jato em baixos níveis e Corrente de Jato em Altos níveis e 5) Complexo Convectivos de Meso escala.

Os objetivos principais deste trabalho são 1) classificar os tipos de nevoeiros em Porto Alegre em um período de 2 anos (2008-2009) a partir da análise dos processos sinóticos e termodinâmicos e 2) avaliar o comportamento de produtos de reanálise do NCEP, reanálise (CFSR-1) e previsão (CFSR-2) do CFSR nas situações de formação de nevoeiro de radiação. Este trabalho é parte inicial do estudo onde foram simulados numericamente as visibilidades horizontal dos nevoeiros de radiação com o modelo Parametrized FOG (PAFOG) (BOTT et al., 2002). Este artigo apresenta os resultados obtidos pelo Convenio Internacional entre Universidade Federal de Alagoas e o Meteorological Institute, Faculty of Mathematics and Natural Sciences at the University of Bonn, Germany.

Na próxima seção, é apresentada uma breve descrição das fontes de dados, dos métodos usados para análise sinótica e termodinâmica nos eventos de nevoeiro. Na seção dos resultados apresenta-se a ocorrência de nevoeiros sobre o aeroporto Salgado Filho, a classificação dos tipos de nevoeiros através da análise dos processos sinóticos nos eventos ocorridos no horário de observação de radiossondagem, e também, a análise dos dados da estação de superfície e dos perfis termodinâmicos apenas nos nevoeiros radiativos. As principais conclusões do estudo são apresentadas na seção 'Conclusões'.

METODOLOGIA

Região de estudo

A ocorrência de nevoeiro foi estudada no Aeroporto Salgado Filho - Porto Alegre (30°00'S, 51°18'W a 3m de altitude; figura 1) durante um período de 2 anos (2008 e 2009). Esse período foi escolhido porque apresentou maior tempo de operações interrompidas no aeroporto entre 2004 e 2014, segundo o ZH Notícias.



Figura 1: Localização da região de estudo: o mapa completo representa a área de cálculo para os produtos de reanálise do NCEP e CFSR; área tracejada (25° a 35° S, 44° a 58° W) mostra a região definida para a análise de nebulosidade pela imagem de satélite.

Análise dos dados de superfície

Para o registro dos nevoeiros foram utilizadas informações das Estações Meteorológicas de Superfície (EMS) do aeroporto com visibilidade horizontal inferior a 1000 metros, obtidas na Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica – REDEMETS¹. A intensidade dos nevoeiros foi classificada de acordo com a visibilidade observada, como forte (visibilidade $\leq 200\text{m}$), moderada ($200\text{m} \leq \text{visibilidade} \leq 700\text{m}$) e fraca ($700\text{m} \leq \text{visibilidade} \leq 1000\text{m}$) conforme INMET (1999). Analisaram-se as seguintes informações meteorológicas associadas aos nevoeiros: direção do vento ($^{\circ}$), velocidade do vento (nós), tempo atual, cobertura de nuvens (oitavos) com a altura da base das nuvens (pés), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e pressão (hPa) ao nível da estação.

Análise dos processos sinóticos

Neste estudo, foram escolhidos os nevoeiros ocorridos nos horários de observação de radiossonda (0000UTC e 1200UTC). Foram analisados os processos sinóticos com os produtos de reanálise do modelo numérico do National Centers of Environmental Prediction/National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEP/NOAA)² e com o Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)³. Utilizaram-se saídas destes produtos a cada 6 horas com espaçamento de grade horizontal de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$. As análises dos processos sinóticos foram feitas na região entre 10°N - 50°S e 10°W - 80°W (figura 1), através dos campos de pressão ao nível médio do mar (hPa), linhas de escoamento e isotacas (m/s), vorticidade (1/s) em todos os níveis padrão; espessura (m)

¹ <http://www.redemet.aer.mil.br>

² <http://www.cdc.noaa.gov>

³ <http://rda.ucar.edu/pub/cfsr.html>

na camada entre 1000hPa e 500hPa e advecção de temperatura potencial equivalente (K/6h) em 1000hPa.

Os campos calculados serviram para identificação dos principais sistemas de escala sinótica atuantes na região de estudo no período de ocorrência de nevoeiro. Os principais sistemas de escala sinótica e meso escala atuantes na região de estudo são: Sistemas Frontais (SF) dos ciclones baroclínicos, processos ciclogénéticos, anticiclones barotrópicos e baroclínicos, Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), ciclones barotrópicos, correntes de jatos subtropical (CJST) e corrente de jato em baixos níveis (CJBN). Esses sistemas influenciam o tempo nesta região, alguns deles associados com a maior quantidade de chuva e outros fenómenos adversos (SATYAMURTY, 1998).

Neste trabalho os SF foram identificados pelo método sinótico: análise conjunta de cavados dos ciclones baroclínicos nos campos de pressão, convergência aerodinâmica nos campos de linhas de correntes no nível de 850hPa e gradiente de temperatura elevado nos campos de espessura (PETTERSEN, 1956; ZVEREV, 1968; DJURIC, 1994). Neste sentido, também foram usadas as imagens de satélite GOES-12 e METEOSAT-9 no canal infravermelho da NOAA⁴ e os campos de advecção de temperatura potencial equivalente para confirmar a posição dos SF (FEDOROVA et al., 2008). Ainda com as imagens de satélite foram identificados os CCM's de acordo a metodologia de Maddox (1980). Os anticiclones baroclínicos apresentaram altos gradientes de espessura na região de alta pressão. A ausência destes gradientes foram nos anticiclones e ciclones barotrópicos (VASQUEZ, 2000). As correntes de jato em altos níveis foram identificadas pelas isotacas que apresentaram magnitude do vento maior que 30 m/s (FEDOROVA, 1999). A corrente de jato em baixos níveis (CJBN) foi identificada nos níveis entre 1000hPa e 850hPa pelas velocidades superior a 15 m/s (STULL, 1988). Os processos ciclogénéticos foram identificados analisando os distúrbios em amplas zonas baroclínicas próximo a superfície nas cartas de espessura e pressão ao nível do mar. O desenvolvimento desses processos foi caracterizado a partir da avaliação dos distúrbios em níveis superiores nos campos de linhas de escoamento e isotacas, em relação à zona baroclínica em baixos níveis (PALMEN et al., 1969). Na América do Sul existem duas regiões com maior frequência de ciclogênese superficial: sobre a Argentina (45° S) e sobre o sul do Brasil (30° S) adjacente ao oceano (GAN et al., 1991; SINCLAIR, 1995). Reboita et al. (2010) mostram a existência de três regiões de ciclogênese perto da costa leste da América do Sul (AS). Uma terceira área de ciclogênese está situada perto do Uruguai e nordeste da Argentina.

Os campos citados acima, que foram gerados com os produtos de reanálise do NCEP e CFSR (CFSR-1), foram analisados em conjunto com as imagens de satélite. Foi delimitada a área compreendida entre 25° e 35° S e entre 44° e 58° W (figura 1) para a análise de cobertura de nebulosidade através das imagens de satélite na hora dos eventos. Desta forma, foi possível determinar as condições definidas como céu limpo, levemente nublado para nuvens de temperatura de topo quente e nebulosidade convectiva para nuvens com temperatura de topo frio (AHRENS, 2009), com o intuito de classificar os tipos de nevoeiros de acordo com Willet (1928), Peterssen (1940), Byers (1959) e Jiuisto (1981).

⁴ <http://www.ncdc.noaa.gov/gibbs>

Análise dos processos termodinâmicos

Para o estudo termodinâmico foram utilizados dados de temperatura do ar (°C), ponto de orvalho (°C), umidade relativa (UR)(%) e Convective Available Potential Energy-CAPE (J) observados das sondagens do Departamento of Atmospheric Sciences/University of Wyoming⁵, e dos produtos de reanálise (CFSR-1) e previsão (CFSR-2) do modelo CFSR com 0,5° x 0,5° de espaçamento de grade horizontal, a cada 6 horas. Esses dados foram utilizados para a análise dos perfis verticais de: UR (%), tipo de inversão e instabilidade. Foi considerada camada úmida quando a UR ≥80% (World Meteorological Organization-WMO, 2008) e nevoeiro quando próxima a superfície a UR≥95% (PETERSSEN, 1940). A identificação do tipo de inversão foi baseada em Fedorova (2001), Vianello et al. (2012).

A estrutura da troposfera típica nos eventos de nevoeiro de radiação em Porto Alegre apresenta inversão de temperatura, camadas isotérmicas e acumulação de UR sob as camadas estáveis (FEDOROVA et. al. 2008). Levando em conta a afirmação, foi analisado nos eventos de nevoeiros de radiação a instabilidade em baixos níveis (superfície até 800hPa) através do gradiente vertical de temperatura (FEDOROVA, 1999), a UR próximo a superfície, e os tipos de inversão na baixa troposfera. Estes aspectos foram comparados com os resultados encontrados por Fedorova et al. (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorrência de nevoeiros

No período de 2 anos foram encontrados 82 casos de nevoeiros, cuja duração variou de 10 min a 11,42 h. A maioria deles ocorreu em outono (52,4%) e inverno (31,7%), enquanto os restantes aconteceram na primavera (8,5%) e no verão (7,4%). Estes eventos foram observados entre a madrugada e a manhã (61,0% e 17,1% respectivamente), e alguns no final da manhã. Somente 1,2% dos eventos de nevoeiro foram observados com chuva.

Sobre o Sul do Brasil, no inverno passam mais ciclones do que nas outras estações do ano. O vento associado com estes sistemas diminui a quantidade de dias com nevoeiro de radiação. A predominância dos anticiclones subtropicais durante as outras estações do ano fornece as condições principais para a formação de nevoeiro de radiação. Embora as temperaturas apresentem aproximadamente o mesmo intervalo e as situações sinóticas sejam parecidos no outono e na primavera, a maior duração do período noturno no outono favorece a ocorrência de um maior número de casos de nevoeiro nesta estação do que na primavera. Uma maior duração do período noturno aumenta a possibilidade do ar chegar a saturação por perda radiativa. O desenvolvimento da convecção térmica predomina na estação quente do ano e diminui a ocorrência do nevoeiro no verão (PIVA et al., 1999).

Na tabela 1 são enumerados os eventos que ocorreram nos horários das observações de radiossonda, também são apresentadas algumas das suas características. Todos os eventos foram analisados detalhadamente no estudo sinótico mostrado adiante. Foi adicionado o caso #11, apesar de não ter ocorrido

⁵ <http://www.weather.uwyo.edu/>

no horário de observação de radiossonda, devido a duração do nevoeiro de 8 horas. A intensidade dos eventos variou de moderado a forte, com a visibilidade mínima de 50 metros (Tabela 1).

Tabela 1: Eventos de nevoeiros para o estudo detalhado, registrados na cidade de Porto Alegre na hora das observações de radiossondagem.

Caso	Data	Hora 1ª Obs.	Duração (h)	Visibilidade Min. (m)	Intensidade
# 1	18/04/2008	09:45	2,25	500	Moderado
# 2	20/04/2008	08:00	4,75	200	Moderado
# 3	17/05/2008	08:00	5,00	300	Moderado
# 4	02/06/2008	10:15	2,75	300	Moderado
# 5	25/06/2008	07:00	6,00	350	Moderado
# 6	29/06/2008	09:11	2,82	50	Forte
# 7	02/07/2008	07:20	5,58	400	Moderado
# 8	04/07/2008	06:00	7,00	400	Moderado
# 9	05/07/2008	03:00	11,42	50	Forte
# 10	15/07/2008	07:27	4,55	400	Moderado
# 11	20/08/2008	02:00	8,00	400	Moderado
# 12	26/08/2008	09:30	2,50	300	Moderado
# 13	27/08/2008	10:25	1,58	300	Moderado
# 14	03/03/2009	07:00	5,25	150	Forte
# 15	24/04/2009	11:00	1,00	600	Moderado
# 16	26/04/2009	09:12	2,97	300	Moderado
# 17	03/05/2009	06:25	5,58	300	Moderado
# 18	10/05/2009	08:00	4,67	300	Moderado
# 19	13/05/2009	03:10	9,20	400	Moderado
# 20	19/06/2009	07:20	5,01	500	Moderado
# 21	20/06/2009	05:00	7,00	200	Moderado
# 22	10/07/2009	10:08	1,87	400	Moderado
# 23	04/08/2009	06:00	6,33	150	Forte

Situação sinótica de todos os eventos de nevoeiro

A interpretação das imagens de satélite e dos campos gerados com o NCEP e o CFSR (CFSR-1) permitiu determinar os principais sistemas de escala sinótica que afetaram as condições de tempo da região de estudo no período de ocorrência dos nevoeiros. Estes resultados foram resumidos na tabela 2.

Tabela 2: Sistemas sinóticos atuantes na região de Porto Alegre na hora e próximo a hora das observações dos eventos de nevoeiros analisados com os produtos de reanálise do NCEP e CFSR (CFSR-1). NS: nebulosidade pelo satélite, PNM: pressão ao nível do mar, Lc850: linhas de corrente e isotacas no nível de 850hPa, Espessura: espessura da camada entre 1000 e 850hPa, Adv_Tpe: advecção de temperatura potencial equivalente em 1000hPa, Li: céu limpo, Nl: nebulosidade leve, Np: nebulosidade convectiva, An: anticiclone, Cav: cavado, Cris: crista, Cavr: cavado do ciclone térmico, Ef: extremidade frontal, Bc: Baroclinico, Con: confluência dos ventos, Cj: corrente de jato, Of: onda fria, Oq: onda quente, -: fraco, N: norte, L: leste, W: oeste.

Caso	NS	PNM		Lc850		Espessura		Adv_Tpe
		NCEP	CFSR-1	NCEP	CFSR-1	NCEP	CFSR-1	
#1	Li	An	An	Cris	Cris	-Bc e Of	-Bc e Of	+1
#2	Li	Cris	Cris	Cris e Con _N	Cris e Con _N	-Bc e Of	-Bc e Of	0
#3	Nl	An	An	Cris, Con _w e Cj _w	Cris, Con _w e Cj _w	-Bc e Of	-Bc e Of	0
#4	Nl	Cav	Cav	Cris, Con _w e Cj _w	Cris, Con _w e Cj _w	Bc	Bc	+1
#5	Nl	Cav	Cav	Cris, Con _w e Cj	Cris, Con _w e Cj	Bc	Bc	+1
#6	Nl	Cav	Cav	Cav _r e Ef	Cav _r e Ef	-Bc e Of	-Bc e Of	+1
#7	Np	Cav	Cav	Cris e Ef	Cris e Ef	-Bc e Oq	-Bc e Oq	+1
#8	Nl	Cav	Cav	- Cav	- Cav	-Bc e Of	-Bc e Of	+1
#9	Li	Cris	Cris	Cris	Cris	Bc e Of	Bc e Of	+1
#10	Li	Cris	Cris	An	Cris	-Bc e Of	-Bc e Of	0
#11	Np	Cav _r	Cav _r	Cav _r , Con _s e Cj _s	Cav _r , Con _s e Cj _s	-Bc e Oq	-Bc e Oq	+2
#12	Li	Cris	Cris	Cris e Cav	Cris e Cav	Bc e Of	Bc e Of	0
#13	Li	Cris	Cris	Cris, Cj _w e Con _L	Cris, Cj _w e Con _L	-Bc e Oq	-Bc e Oq	+1
#14	Nl	Cris	Cris	Cris e Cj _w	Cris e Cj _w	-Bc e Oq	-Bc e Oq	-

#15	N _L	Cav	Cav	Cav	Cav	-Bc	-Bc	+1
#16	N _L	Cav	Cav	Cav e Con	Cav e Con	-Bc	-Bc	0
#17	L _I	Cris	Cris	Cris	Cris	-Bc	-Bc	+1
#18	L _I	Cris	Cris	Cris e Cav	Cris e Cav	-Bc	-Bc	+1
#19	N _P	Cav	Cav	Cav e C _j	Cav e C _j	-Bc e O _Q	-Bc e O _Q	+2
#20	L _I	Cris	Cris	Cav, Con e C _{jw}	Cris, Con e C _{jw}	-Bc e O _Q	-Bc e O _Q	0
#21	L _I	Cris e Cav	Cris e Cav	Cav e C _j e Con _L	Cris e Con e C _{jw}	-Bc e O _Q	-Bc e O _Q	0
#22	N _P	Cav	Cav	Con	Con	Bc	Bc	+1
#23	N _L	Cris	Cris	An	An	Bc e O _F	Bc e O _F	+1

Os campos apresentados pelos dois modelos (NCEP e CFSR) mostraram resultados semelhantes na maioria dos casos, com exceção do campo de linhas de correntes e magnitude do vento no nível de 850hPa nos casos #10, #20 e #21. No caso #10 a diferença não foi significativa, pois o NCEP mostrou um anticiclone e o CFSR uma crista sobre Porto Alegre. Já nos casos #20 e #21 as diferenças foram maiores: O NCEP mostrou um cavado e o CFSR uma crista no caso #20. No caso #21, um cavado, confluência a leste da região e corrente de jato em baixos níveis foi evidenciado no NCEP, enquanto o CFSR representou uma crista, confluência dos ventos e corrente de jato a oeste da região.

Os 13 casos de nevoeiro sob influência de anticiclone ou crista baroclínica na superfície, com ausência de nuvens ou leve nebulosidade na região de estudo (Tabela 2), podem ser considerados ‘nevoeiros de radiação’ (Tabela 3) de acordo com Willet (1928), Petterssen (1956), Byers (1959) e Jiusto (1981). Os outros dez casos de nevoeiros estavam associados a cavados baroclínicos na superfície, a maioria deles (6 casos) exibindo a nebulosidade típica de sistemas frontais. Esses casos podem ser classificados como ‘nevoeiros frontais’ (tabela 3). Neste artigo são apresentados apenas os resultados dos nevoeiros de radiação. Os resultados correspondentes aos dos nevoeiros frontais serão apresentados em um próximo artigo.

Tabela 3: Tipos de nevoeiros ocorrido no período de estudo na cidade de Porto Alegre. *nevoeiro entre a extremidade frontal e ciclone barotrópico.

Data dos nevoeiros de radiação		Data dos nevoeiros frontais	
18/04/2008	03/03/2009	02/06/2008	26/04/2009
20/04/2008	03/05/2009	25/06/2008	13/05/2009*
17/05/2008	10/05/2009	29/06/2008*	10/07/2009
05/07/2008	19/06/2009	02/07/2008	
15/07/2008	20/06/2009	04/07/2008	
26/08/2008	04/08/2009	20/08/2008*	
27/08/2008		24/04/2009	
13 casos		10 casos	

Características dos eventos de nevoeiros de radiação na superfície

A maioria dos eventos (9 casos) se formaram no período da madrugada (0300UTC as 0800UTC), os 4 restantes se formaram no período da manhã (0900UTC as 1000UTC). De acordo com Piva (1999), os valores das variáveis meteorológicas em superfície foram favoráveis a ocorrência de nevoeiro de radiação nos casos aqui apresentados. Todos apresentaram pouca ou nenhuma cobertura de nuvem antes da formação dos nevoeiros. As velocidades do vento em superfície foram baixas, na ordem dos 0 a 7 nós, enquanto as suas direções mostraram consideráveis variações: de nordeste (2 casos), noroeste (5 casos), sudoeste (1 caso), leste (4 casos) e calmo (1 caso). Na maioria dos casos as amplitudes diárias da pressão variaram entre 3hPa a 5hPa com tendência a queda da pressão. No entanto, o estudo sinótico na secção 3.2 mostrou que esses

nevoeiros se formaram no anticiclone ou crista, implicando que a tendência da queda de pressão favoreceu o enfraquecimento do anticiclone ou da crista, possibilitando assim o acúmulo de UR em baixos níveis e consequentemente a formação dos nevoeiros de radiação (WILLET, 1928). Apenas em um caso (04 de Agosto de 2009) a amplitude diária da pressão foi de 7hPa devido a influência de um sistema frontal em Porto Alegre no dia anterior ao evento, no entanto, na hora do nevoeiro a cidade estava sob influência do anticiclone na retaguarda da frente fria. As amplitudes térmica diárias variaram entre 10°C a 16°C em todos os nevoeiros de radiação.

Estrutura vertical da troposfera em todos os eventos de nevoeiro de radiação

Todos os perfis verticais de radiossonda mostraram condições de nevoeiro de acordo a Petterssen (1956). A profundidade da camada úmida variou desde a superfície até 925hPa, apresentando UR máxima na superfície, com valores de 99% a 100%. Os perfis do CFSR-1 não contêm dados de UR na superfície, apenas a partir do nível de 1000hPa. Nesses dados, 7 casos mostraram a troposfera seca em baixos níveis, 4 casos com 1 nível úmido (1000hPa) com a UR variando de 80% a 89%; e 2 casos com profundidade da camada úmida entre 1000-950hPa e a UR variando de 86% a 89%. Já os perfis do CFSR-2 apresentam informações de UR a 2m: 5 casos mostraram a troposfera seca, 2 casos mostraram UR apenas em 2m (variando de 82,2% a 82,6%), 2 casos com UR apenas em 1000hPa (variando de 80% a 84%), 2 casos com UR desde 2m à 1000hPa (variando de 89% a 96,9%) e 2 casos com UR desde 2m até 950hPa (a UR variou de 85% a 88%) (Tabela 4). Com os resultados desta seção pode ser concluído que os perfis vertical construídos com os dados do CFSR-1 e CFSR-2 não mostram condições de formação de nevoeiro em baixos níveis na maioria dos eventos, apenas o CFSR-2 mostrou em um único caso de maior duração (05/07/2008 as 0600UTC).

Tabela 4: Condições de umidade da baixa troposfera na hora dos eventos de nevoeiros de radiação (1200UTC) com os dados de radiossonda (RADIOSSONDA), dados de reanálise (CFSR-1) e de previsão (CFSR-2) do modelo CFSR. 2m: dois metros; * maior umidade na superfície; -- seco; / não se sabe se é contínuo.

Data	Camada úmida (hPa)			Umidade relativa (%)		
	RADIOSSONDA	CFSR-1	CFSR-2	RADIOSSONDA	CFSR-1	CFSR-2
18/04/2008	1020-999 hPa e 929-925hPa	1000hPa	1000hPa	99*	80	80
20/04/2008	1018-977 hPa	1000hPa	2m/1000hPa	100*	89	89
17/05/2008	1020-1008hPa	--	--	100*	--	--
05/07/2008	12h:1019-983hPa	06h: 1000hPa 12h: -	06h:2m/1000hPa 12h: 2m	100*	06h:88 12h: -	06h: 96.9* 12h: 82.7*
15/07/2008	1024-1016hPa	--	--	100*	--	--
26/08/2008	1022-950hPa	1000-950hPa	2m/1000-975hPa	100*	86	85
27/08/2008	1016-987hPa	--	--	100*	--	--
03/03/2009	1015-925hPa	1000-950hPa	2m/1000-950hPa	100*	89	88
03/05/2009	1018-990hPa	--	--	100*	--	--
10/05/2009	1016-1000hPa	1000hPa	1000hPa	100*	84	84
19/06/2009	1019-986hPa	--	--	100*	--	--
20/06/2009	1019-1012hPa	06h: - 12h: -	06h: 2m 12h: -	100*	06h: - 12h: -	06h: 82.6* 12h: -
04/08/2009	1023-1000hPa	--	2m	100*	--	82.2*

Através da tabela 5 é possível inferir que na hora de ocorrência dos nevoeiros todos os perfis de

sondagem da baixa troposfera estiveram de acordo com os encontrados por Fedorova et. al. (2008) em Porto Alegre. Estes perfis apresentaram inversão de temperatura, a maioria com camadas isotérmicas (8 casos) e acumulação de UR sob camadas estáveis (tabela 4 e 5). O mesmo não foi observado nos perfis do CFSR (CFSR-1 e CFSR-2) devido à restrição de informações em baixos níveis. Entretanto, todos os perfis do CFSR mostraram camada estável em baixos níveis, em 11 casos mostraram uma camada de inversão de temperatura (1 deles acompanhado de uma camada isotérmica) e em 9 perfis do CFSR-2 mostraram camada de inversão de temperatura e 1 caso com camada isotérmica (tabela 5).

Tabela 5: Condições de estabilidade na baixa troposfera na hora dos eventos de nevoeiros de radiação (1200UTC) com os dados de radiossonda (RADIOSSONDA), dados de reanálise (CFSR-1) e previsão (CFSR-2) do modelo CFSR. It: isotermia, Is: Inversão de subsidência, Ir: Inversão de radiação, E: estável, Ci: condicional instável, I: absolutamente instável, Obs: Radiossonda.

Data	Instabilidade			Nível de Inversão/Isotermia
	RADIOSSONDA	CFSR-1	CFSR-2	
18/04/2008	E: 1020-981 hPa Ci: 981-945 hPa I: 945-925 hPa E: 925-906 hPa Ci: 906-886 hPa I: 886-819 hPa	E: 1000-950hPa Ci: 950-800hPa	E: 1000-950 hPa Ci: 950-800 hPa	Obs, It: 1020-1000 hPa Is: 1000-981 hPa Is: 925-906 hPa CFSR-1, Is: 1000-950hPa CFSR-2, It: 1000-975hPa
20/04/2008	Ci: 1018-1000hPa E: 1000-985hPa Ci: 985-94 hPa E: 945-881 hPa Ci: 881-812 hPa	E: 1000-850hPa Ci: 850-800hPa	E: 1000-900 hPa Ci: 900-800 hPa	Obs, Ir: 1000-985 hPa Is: 945-925 hPa It: 926-925 hPa CFSR-1, Is: 1000-975hPa CFSR-2, ---
17/05/2008	E: 1020-948 hPa I: 948-944 hPa Ci: 944-863 hPa E: 863-833 hPa	E: 1000-950hPa Ci: 950-825hPa E: 825-800hPa	E: 1000-950 hPa Ci: 950-800 hPa	Obs, Ir: 1020-1008 hPa Is: 1008-948 hPa It: 1008-1000 hPa Is: 863-833 hPa It: 854-850 hPa CFSR-1, Is: 1000-975hPa It: 975-950hPa CFSR-2, Is: 1000-975hPa Is: 825-800hPa
05/07/2008	Ci: 1019-997hPa E: 997-936hPa Ci: 936-921hPa I: 921-850hPa	E: 1000-925hPa Ci: 925-800hPa	E: 1000-950 hPa Ci: 950-800 hPa	Obs, Ir: 997-995hPa Is: 983-936hPa CFSR-1, Is: 1000-950hPa CFSR-2, Is: 1000-950hPa
15/07/2008	E: 1024-960hPa Ci: 960-850hPa	E: 1000-950hPa Ci: 950-800hPa	E: 1000-950hPa Ci: 950-800hPa	Obs, Ir: 1024-1016hPa Is: 1000-960hPa CFSR-1, Is: 1000-975hPa CFSR-2, Is: 1000-975hPa
26/08/2008	E: 1022-839hPa	E: 1000-800hPa	E: 1000-800hPa	Obs, Ir: 1022-994hPa Is: 950-927hPa Is: 901-863hPa Is: 850-839hPa CFSR-1, Is: 925-875hPa CFSR-2, Is: 925-875hPa
27/08/2008	Ci: 1016-1007hPa E: 1007-1000hPa Ci: 1000-979hPa E: 979-921hPa Ci: 921-894hPa I: 894-874hPa E: 874-856hPa Ci: 856-812hPa	E: 1000-825hPa Ci: 825-800hPa	E: 1000-825hPa Ci: 825-800hPa	Obs, Ir: 1007-1000hPa Is: 979-921hPa Is: 874-856 hPa CFSR-1, Is: 1000-900hPa CFSR-2, Is: 1000-900hPa
03/03/2009	Ci: 1015-1000hPa E: 1000-962hPa Ci: 962-850hPa E: 850-807hPa	Ci: 1000-975hPa E: 975-800hPa	Ci: 1000-975hPa E: 975-900hPa Ci: 900-800hPa	Obs, It: 1001-1000hPa Ir: 1000-962hPa It: 865-850hPa Is: 850-807hPa

				CFSR-1, --- CFSR-2, ---
03/05/2009	Cl:1018-1003hPa E: 1003-947hPa Cl: 947-820hPa	E: 1000-925hPa Cl: 925-800hPa	E: 1000-925hPa Cl: 925-800hPa	Obs, It: 1003-1000hPa It: 990-981hPa Is: 981-947hPa CFSR-1, Is: 1000-950hPa CFSR-2, It: 975-950hPa
10/05/2009	E: 1016-925hPa Cl: 925-895hPa E: 895-887hPa Cl: 887-815hPa	E: 1000-800hPa	E: 1000-800hPa	Obs, Ir: 1016-1000hPa It: 1000-975hPa Is: 975-949hPa It: 926-925hPa It: 895-894hPa Is: 894-887hPa CFSR-1, --- CFSR-2, ---
19/06/2009	E: 1019-959hPa Cl: 959-856hPa E: 856-825hPa Cl: 825-806hPa	E: 1000-950hPa Cl: 950-900hPa E: 900-800hPa	E: 1000-950hPa Cl: 950-850hPa E: 850-800hPa	Obs, Ir: 1019-1000hPa Is: 986-959hPa Is: 856-825hPa CFSR-1, Is: 1000-975hPa Is: 850-800hPa CFSR-2, Is:1000-975hPa Is: 850-800hPa
20/06/2009	E: 1019-912hPa Cl: 912-850hPa E: 850-804hPa	E: 1000-800hPa	E: 1000-800hPa	Obs, Ir: 1019-1012hPa Is: 1000-934hPa It: 934-925hPa Is: 925-912hPa Is: 850-804hPa CFSR-1, Is: 1000-950hPa Is: 850-800hPa CFSR-2, Is:1000-950hPa
04/08/2009	E: 1023-991hPa Cl: 991-950hPa E: 950-898hPa Cl: 898-850hPa	E: 1000-825hPa Cl: 825-800hPa	E: 1000-825hPa Cl: 825-800hPa	Obs, Ir: 1023-1000hPa It: 950-929hPa Is: 929-898hPa CFSR-1, Is: 925-875hPa CFSR-2, Is: 925-875hPa

Análise do nevoeiro de radiação com maior duração

As análises de dados de superfície, sinótica e termodinâmica foram elaboradas em todos os dias com nevoeiro. Como um exemplo das análises se apresenta em detalhes um caso de nevoeiro de maior duração que ocorreu no dia 05/07/2008 (Tabela 1).

Características do nevoeiro na superfície

A cobertura de nuvens observada na EMS do aeroporto mostra que no começo do dia anterior ao evento foram observadas duas camadas de nuvens baixas (ambas com 7/8 de cobertura, 300 m e 400 m de altura da base) e nevoeiro no período da manhã (das 0700UTC às 1200UTC). No dia do evento o céu esteve coberto com nuvens baixas (7/8 de cobertura e 900 m de altura) às 0000UTC. O nevoeiro foi registrado pelo observador das 0300UTC às 1300UTC que cobriu 8/8 do céu.

A EMS do aeroporto registrou UR de 100% na maior parte do período observado (desde o dia 4 as 0000UTC até o dia 5 as 1800UTC), que possibilitou a ocorrência de névoa úmida (15 h de registro no dia 4 e 5 h no dia 5) e nevoeiros (7 h de registro no dia 4 e 11 h no dia 5). Na hora do evento a visibilidade variou de 50 m a 400 m. A amplitude da pressão do dia anterior até o dia do evento mostrou uma queda de pressão de 4hPa que enfraqueceu o anticiclone e conseqüentemente favoreceu a concentração de UR sobre o aeroporto. O valor da amplitude da pressão mostra também que neste período a região não sofreu influência de SF, CCM,

etc. Os valores de temperatura e de ponto de orvalho mostram que antes do evento o ar atingiu a saturação por resfriamento até atingir o ponto de orvalho (dia 4 às 2100UTC), característica de nevoeiro de radiação segundo Petterssen (1956). As condições de vento foram favoráveis a ocorrência de nevoeiro, com intensidade e direção variando de 0 a 3 nós (calmaria) e de 70° a 140°, respectivamente, possibilitando o acúmulo de UR.

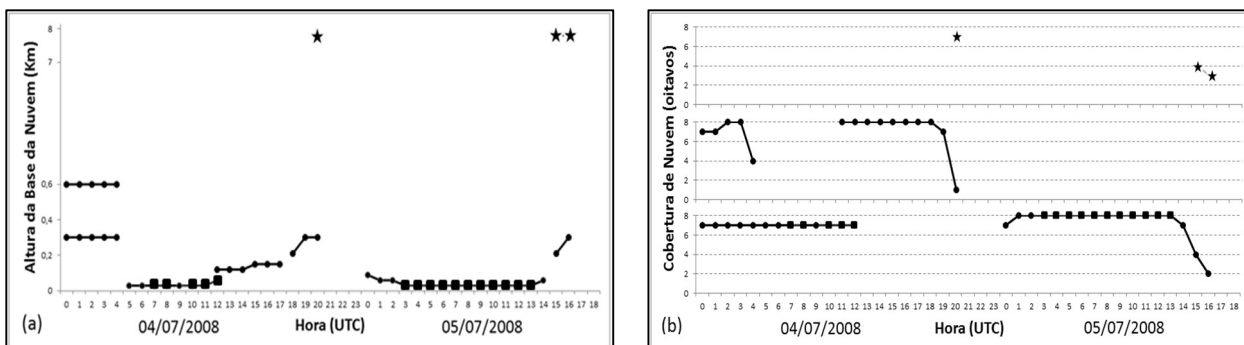


Figura 2: Dados horários da altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens em oitavos (b) da EMS do Aeroporto Salgado Filho, das 0h do dia 04 até as 23h do dia 05/07/2008. Nevoeiro (marcador quadrado), nuvem baixa (marcador circular) e alta (marcador estrela).

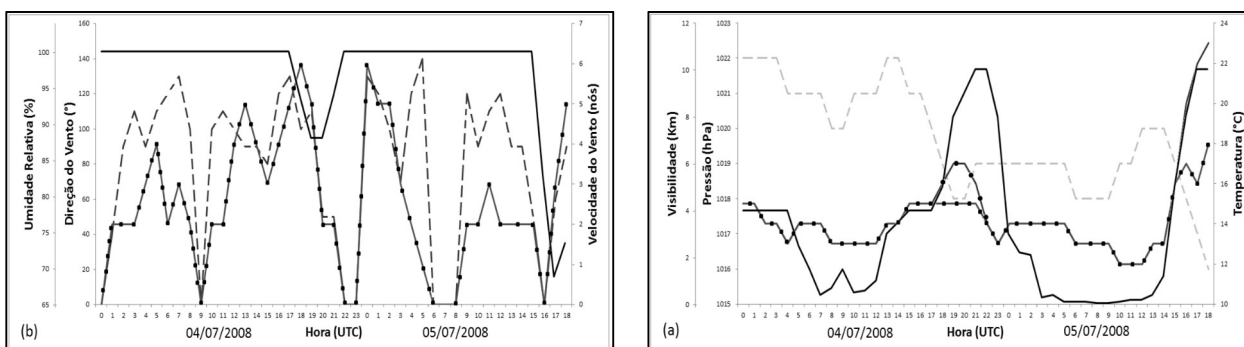


Figura 3: Dados horários de pressão (linha tracejada), temperatura do ar (linha com marcador circular), ponto de orvalho (linha com marcador quadrado) e visibilidade (linha contínua) em (a); direção (linha tracejada) e velocidade (linha com marcador quadrado) do vento e umidade relativa (linha contínua) em (b) da EMS do Aeroporto Salgado Filho, das 0000UTC do dia 04 até as 1800UTC do dia 05/07/2008.

Análise da situação sinótica na formação do nevoeiro

A análise sinótica mostra um sistema frontal distante da região de estudo durante o evento de nevoeiro (figura 4 a, seta vermelha). A região estava sobre influência de crista (figura 4 c, linha preta tracejada) do anticiclone baroclínico e onda de ar frio (figura 4 b, seta preta). Esta análise indica que o nevoeiro de radiação formou-se fora da zona frontal, portanto, dentro de uma massa de ar (PIVA et al., 1999).

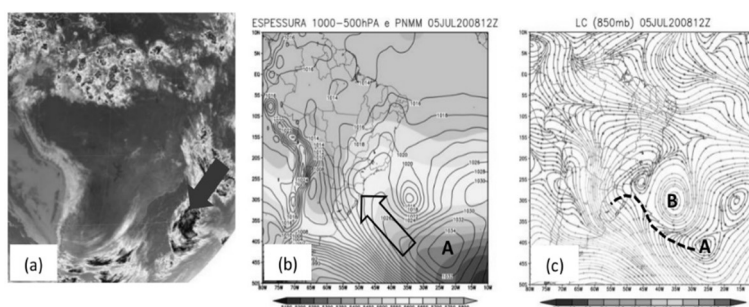


Figura 4: Imagem de satélite no canal IR (a), espessura da camada (b) e linha de escoamento e magnitude do vento (c) na hora de ocorrência do evento. Seta cheia o sistema frontal, seta não preenchida a onda fria e a linha tracejada a crista. A o anticiclone e B o ciclone.

Características termodinâmica da troposfera do evento de nevoeiro

Durante o evento de nevoeiro (das 0300UTC às 1200UTC) foi observado no perfil de sondagem uma inversão de radiação localizada a partir de 190 m de altura com profundidade de 17 m. No nível acima (a partir de 309 m a 727 m) foi localizada uma inversão de subsidência. A UR na superfície foi de 100%, valor observado até a altura de 190 m (figura 5 a). O perfil do CFSR-1 às 0600UTC mostrou apenas um nível úmido na altura de 158 m com UR de 88%. Os dados das 1200UTC mostraram a troposfera seca em baixos níveis com inversão de subsidência desde 165 m até 602 m de altura (figura 5 b). O CFSR-2 mostrou camada umidade desde 2 m até 163 m de altura, com UR máxima de 96.9% em 2 m no horário das 0600UTC. Passado 6 horas (1200UTC) apresentou nível úmido apenas em 2 m de altura (UR de 82,7%), com inversão de subsidência na altura de 146 m à 590 m (figura 5 c).

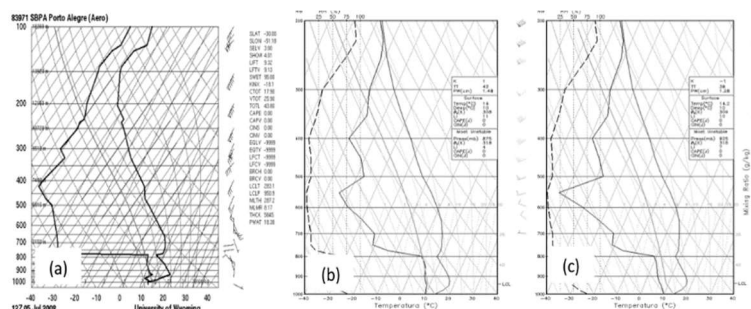


Figura 5: Perfil de temperatura e de umidade (a) radiossondagem, (b) reanálise e (c) previsão do modelo CFSR para o dia 05 de Julho de 2008 as 1200UTC na cidade de Porto Alegre.

CONCLUSÕES

A partir da amostra inicial do período de 2 anos de levantamento de ocorrência de nevoeiros no aeroporto Salgado Filho foram selecionados 23 casos que ocorreram nos horários de observação de radiossonda. Pela análise dos processos sinóticos 13 casos corresponderam a nevoeiros de radiação e 10 a nevoeiros frontais.

Os 13 casos de nevoeiros de radiação foram confirmados pelos dados da estação de superfície do aeroporto e estiveram de acordo com os resultados encontrados em estudos anteriores sobre nevoeiro de radiação. Todos apresentaram pouca ou nenhuma cobertura de nuvem horas antes da formação dos nevoeiros, a velocidade do vento na hora dos eventos foram baixas (de 0 a 7 nós) com uma tendência a queda na amplitude diária da pressão (3hPa a 5hPa) que favoreceu o enfraquecimento dos anticiclones, resultando em acúmulos de UR em baixos níveis.

A estrutura vertical da troposfera nos horários de ocorrência dos nevoeiros mostraram condições de nevoeiros de radiação em todos os perfis de radiossonda, com camada úmida desde a superfície até 925hPa, o valor de UR máximo foi na superfície (de 99% a 100%) com a camada estável, inversões de temperatura e camadas isotérmicas.

Quando avaliado o desempenho dos produtos de reanálise (CFSR-1) e previsão (CFSR-2) do modelo CFSR na representação dos nevoeiros de radiação se notou que eles não mostraram os nevoeiros em baixos níveis na maior parte dos casos, apenas o CFSR-2 mostrou em um único caso de maior duração (no dia 05 de

Julho de 2008). O CFSR-1 mostrou camada úmida entre 1000-950hPa com UR de 86-89%. O CFSR-2 mostrou na maioria dos casos camada úmida entre a altura de 2m até o nível de 950hPa com UR variando de 80 a 89% e um único caso com 96.9%. No restante da troposfera os produtos do CFSR mostraram estrutura típica de nevoeiros de radiação, com camadas estáveis, inversões de temperatura e camadas isotérmicas.

Os autores supõem que o problema do CFSR em representar os nevoeiros em baixos níveis se deve a baixa resolução horizontal do CFSR (espaçamento de grade de 0.5° x 0.5°, aproximadamente 2500 Km² da área do pixel) quando considerado o fenômeno de nevoeiro que é da escala espacial de dezenas de metros quadrados até poucas centenas de quilômetros quadrados. Apesar deste problema de resolução horizontal, na segunda parte deste estudo será mostrado que estes dados apresentam condições favoráveis a utilização do modelo PAFOG para a simulação de visibilidade dos nevoeiros radiativos.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, C.. **Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment**. 6 ed. Belmont: Brooks, 2009.
- BOTT, A.; TRAUTMANN, T.. PAFOG – A new efficient forecast model of radiation fog and low-level stratiform clouds. **Atmospheric Research**, v.64, p.191-203, 2002.
- BYERS, H. R.. **General meteorology**. 4 ed. New York: MC Graw Hill Book Company, 1959.
- CABRAL, E.. Climatologia dos nevoeiros no Aeroporto de Guarulhos (1969-1997). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10. **Anais**. Brasília, 1998.
- DJURIC, D.. **Weather Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1994.
- FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; FEDOROV, D.. Fog and Stratus Formation on the Coast of Brazil. **Atmospheric Research**, v.87, p.268-278, 2008.
- FEDOROVA, N.. **Meteorologia sinótica**. Maceió: Universitária-EDUFAL, 2008.
- FEDOROVA, N.. **Meteorologia sinótica**. Pelotas: Universitária-UFPel, 2001.
- FEDOROVA, N.. **Meteorologia sinótica**. Pelotas: Universitária-UFPel, 1999.
- GAN, M. A.; RAO V. B.. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v.119, p.1293-1302, 1991.
- GEORGE, J. J.. **Fog Compendium meteor**. Boston: Amer. meteor. Soc., 1951.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Manual de observação meteorológica**. 3 ed. Brasília: INMET, 1999.
- JIUSTO, J.. **Fog structure**. San Diego: Academic Press, 1981.
- LIMA, J. S.. **Previsão de ocorrência e duração de Nevoeiro em Porto Alegre: método objetivo**. São José dos Campos: Instituto de Proteção ao Voo do Ministério da Aeronáutica, 1982.
- MADDOX, R.. **A Mesoscale Convective Complexes**. Bulletin of the American Meteorological Society, 1980.
- OLIVEIRA, G. A.. **Método Estatístico no auxílio à previsão de nevoeiro para o aeródromo de Guarulhos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- PALMEN, E.; NEWTON C. W.. **Atmospheric Circulation Systems: Their Structure and Physical Interpretation**. New York, London: Academic Press, 1969.
- PETERSSEN, S.. Stability and instability in relation to weather phenomena. In: PETERSSEN, S.. **Weather analysis and forecasting**. New York: Mc-Graw Hill, 1940. p.110-125/130-131
- PETERSSEN, S.. **Weather analysis and Forecasting**. London: McGraw-Hill, 1956.
- PIVA, E.; FEDOROVA, N.. Um estudo sobre a formação de nevoeiro de radiação em Porto Alegre. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.14, n.2, p.47-62, 1999.
- REBOITA M. S.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T.; SUGAHARA, S.. South Atlantic Ocean Cyclogenesis Climatology Simulated by Regional Climate Model (RegCM3). **Climate Dynamics**, v.35, n.7-8, p.1331-1347, 2010.
- SATYAMURTI, P.; NOBRE, C. A.; DIAS, P. L. S.. South America, In Meteorology of Southern Hemisphere. In: KAROLY, D. J.; VINCENT, D. G.. **American Meteorological Society**. Boston, 1998. p.119-139.
- SINCLAIR, M. R.. A Climatology of Cyclogenesis for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v.123, p.1601-1619, 1995.
- STULL, R. B.. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer, 1988.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L.. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1983.

VASQUEZ, T.. **Weather Forecasting Handbook**. Garland: Weather Graphics Technologies, 2000.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M.. Mesoscale Convective Complexes in the Américas. **Journal of Geophysical Research**, v.92, n.D8, p.959-9613, 1987.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R.. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 2 ed. UFV, 2012.

WILLET, H. C.. Fog and haze, their causes, distribution, and forecasting. **Monthly Weather Review**, Washington, v.56, p.435-468, 1928.

WMO. World Meteorological Organization. **No 8: Guide to meteorological instruments and methods of observation**. 7 ed. Switzerland: WMO, 2008.

ZVEREV, A. S.. **Synoptic meteorology and numerical weather forecasting**. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1968.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.