

NEVOEIRO EM PORTO ALEGRE - PREDITORES.

Valdeci Donizeti J. França¹, Antônio Paulo de Queiroz², Paulo R. Bastos de Carvalho³

^{1,2,3}Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica – Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle do Tráfego Aéreo, Brasília - DF, Brasil.

juliarvdf@gmail.com, queirozapq@yahoo.com.br, baspaulo@yahoo.com.br,

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo, mostrar em que situações os valores do *Fog Stability Index* (FSI), K e de outras de variáveis poderiam ser utilizadas como preditores, na indicação de uma tendência para a ocorrência de nevoeiro no aeroporto de Salgado Filho em 2004. Os resultados revelaram que índices FSI e K quando utilizados isoladamente como únicos preditores, apresentam resultados não satisfatórios. Entretanto, quando aplicados em conjunto com os dados do perfil vertical da atmosfera, os resultados foram satisfatórios para serem usados como preditores.

ABSTRACT: THE FOG IN PORTO ALEGRE - PREDICTORS. This paper aims to show in what situations the values of the Fog Stability Index (FSI), K and other variables could be used as predictors, the indication of a tendency for the occurrence of fog in the Salgado Filho airport in 2004. The results revealed that FSI and K indices when used alone as single predictors, have unsatisfactory results. However, when applied in conjunction with data from the vertical profile of the atmosphere, the results were satisfactory for use as predictors.

Palavras-Chave: Nevoeiro, preditores, previsão, índices de estabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O nevoeiro provoca cancelamentos ou atrasos nos vôos, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde se encontram os aeroportos mais importantes (fluxo de passageiros e cargas), como por exemplo, o aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre. Entretanto, a previsão de nevoeiro é uma das mais complexas, devido à carência de preditores e métodos que indicam as ocorrências de nevoeiro, o que remete ao seguinte problema: Em quais situações os índices de estabilidade da atmosfera (*Fog Stability Index* – FSI – e K) e outras variáveis meteorológicas podem ser considerados como preditores, indicando uma tendência para a ocorrência de nevoeiro no aeroporto de Salgado Filho em Porto Alegre-RS? Com o objetivo de apresentar solução a esse problema, os autores procuram responder duas questões norteadoras: a) qual é a relação das variáveis que compõem os índices FSI e K com a ocorrência de nevoeiro?; e b) quais seriam as variáveis atmosféricas que em conjunto com os índices de estabilidade (FSI e K) poderiam ser considerados como preditores para prognóstico de nevoeiro no aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre-RS? A pesquisa limita-se ao aeroporto de Salgado Filho, localizado no município de Porto Alegre-RS, durante o ano de 2004.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O nevoeiro forma-se pelo resfriamento do ar ou pela adição de vapor d'água até que a temperatura do ponto de orvalho do ar torna-se igual à temperatura do ar. O ar saturado contíguo a superfície é mais frio e mais úmido do que o ar não saturado localizado imediatamente acima. Forma-se então a camada de inversão (CI). Segundo, a experiência dos autores como previsores e a literatura, a velocidade do vento na superfície tem uma forte influência na formação do nevoeiro

que ocorre geralmente quando a intensidade do vento é menor ou igual a 8 kt e é diretamente proporcional a ocorrência de turbulência na CI. André e Mahrt (1981) ao estudar os perfis verticais de Wangara e Voves nos Estados Unidos mostraram a importância das trocas de calor e umidade que determinam a estabilidade da atmosfera. Segundo Reymann *et al*, 1998, o *Fog Stability Index* (FSI) indica a probabilidade de ocorrência de nevoeiro de radiação nas próximas 12 h, as variáveis deveriam ser da radiossondagem das 00Z. Os valores do índice e probabilidades são dados na Tabela 1 e obtidos pela Equação 1.

$$FSI = 4T_{ar} - 2(T_{850} + T_{dar}) + W_{850}, \quad (1)$$

Em que T_{ar} é a temperatura do ar a 2 m dada em °C, T_{850} é a temperatura em 850 hPa dada em °C, T_{dar} é a temperatura do ponto de orvalho a 2 m em °C e W_{850} é a velocidade do vento em 850 hPa dada em nós.

Tabela 1 - Valores de FSI

Valores de FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
$FSI > 55$	Baixa
$31 \leq FSI \leq 55$	Média
$FSI < 31$	Alta

Piva e Fedorova (1999), analisando as formações de nevoeiro de radiação para Porto Alegre, encontraram dois tipos de camada de inversão (CI): Tipo I e II. A CI do Tipo I apresentou altura média de 946 hPa, com um gradiente vertical de temperatura de 1,6°C/100 m. A CI do Tipo II apresentou altura média de 958 hPa, com um gradiente vertical de temperatura de 0,5°C/100 m. Nesse estudo Piva e Federova utilizaram o índice K para avaliarem a estabilidade da atmosfera, quando o $K \leq 25$ é estável e $K > 25$ é instável. O índice K é dado por:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700}), \quad (2)$$

Em que T_{850} é a temperatura do ar, T_{d850} é a temperatura do ponto de orvalho, ambas em 850 hPa e dadas em °C; T_{700} é a temperatura do ar, T_{d700} é a temperatura do ponto de orvalho, ambas em 700 hPa e dadas em °C; e T_{500} é a temperatura dada em °C no nível de pressão de 500 hPa.

3. METODOLOGIA

O método utilizado consistiu de: a) Seleção dos dados de interesse: temperatura do ar e do ponto de orvalho (da superfície e de altitude dos níveis 950, 850, 700 e 500 hPa), a velocidade do vento (superfície, 950 e 850 hPa), a umidade relativa do ar (UR), a pressão atmosférica na superfície e os dias de ocorrências de nevoeiro; b) Cálculos: os índices FSI, K e FSI_950, no FSI_950 adota-se a camada 960-920 hPa devido às características do perfil vertical de Porto Alegre - RS procurou-se o valor mais próximo de 950 hPa, dado por:

$$FSI_{950} = 4T_{ar} - 2(T_{950} + T_{dar}) + W_{950}, \quad (3)$$

As unidades são expressas como as da equação 1; c) Cálculo diário da depressão psicrométrica (DP) que representa o quanto a superfície (ou nível referência) está úmida; d) Cálculo diário da diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ar no nível de 950 hPa (faixa de 960 a 920 hPa); e) Com os dados anteriores separaram-se os dias de ocorrência de nevoeiro e procurou-se estabelecer correlações; e f) A avaliação da previsão de ocorrência de nevoeiro até as 12Z é verificada por taxas obtidas da tabela de contingência (tabela 2) as quais indicarão o grau de precisão das previsões. As combinações possíveis das previsões e de observações são: i) Acerto (A): previsto e ocorreu; ii) Falha (F): não previsto e ocorreu; iii) Alarme falso (Af): previsto e não ocorreu; e iv) Negativa correta (Nc): não previsto e não ocorreu. Previsão perfeita consiste em produzir somente A e Nc, e não F ou Af.

Tabela 2 -Tabela de contingência

Previsão de nevoeiro	Observação nevoeiro		Total
	Ocorreu	Não ocorreu	
Previu	A	Af	A + Af
Não Previu	F	Nc	F + Nc
Total	A + F	Af + Nc	A + F + Nc + Af

Com a tabela 2, obtêm Grau de acerto (GA), Taxa de alarme falso (Taf) e Índice de alarme falso (Iaf) expressos pelas equações (4), (5) e (6) respectivamente:

$$GA = (A + Nc) / (A + F + Af + Nc), \quad (4)$$

$$Taf = Af / (Af + Nc), \quad (5)$$

$$Iaf = Af / (A + Af), \quad (6)$$

O GA indica qual a fração das previsões está correta (varia de 0 a 1). A Taf indica a proporção de não ocorrências de nevoeiro que incorretamente foram previstas nas previsões. O Iaf indica a proporção de não ocorrências de nevoeiro que incorretamente foram previstas nas observações.

3. DADOS E RESULTADOS

Os dados diários (00Z) do perfil vertical da atmosfera foram obtidos no site <http://weather.uwyo.edu> e as ocorrências ou não de nevoeiro foram fornecidas pelo ICEA. Foram analisados 340 dias, dos quais 26 dias com nevoeiro. Na Figura 1 os resultados indicaram que dos 26 dias de nevoeiro em 17 casos (65%) o FSI indicou alta probabilidade e no restante média probabilidade de ocorrência de nevoeiro com valor máximo de 47,8. Enquanto o FSI_950 teve em 24 casos (92%) alta probabilidade e nos demais média probabilidade, com valor máximo de 38,4. O FSI_950 mostrou-se ser mais efetivo em relação ao FSI. O K indicou em 19 casos (73%) havia estabilidade e em 7 casos (27%) havia instabilidade atmosférica, valor máximo de 34,5. Portanto na maioria dos casos os FSI indicavam que havia possibilidade de ocorrer nevoeiro, pois em uma atmosfera mais estável há pouco movimento vertical e a umidade tende a se concentrar em regiões contíguas a superfície. Os resultados do FSI_950 foram melhores porque as alturas da CI se localizaram entre 960-920, resultados compatíveis com Piva e Federova (1999). A figura 2 indica os registros das pressões durante os 26 dias de nevoeiro em 22 dias - 85% - a pressão foi de 1014 hPa ou maior, sistema de alta pressão. Em sincronia com UR do ar, figura 4, em 25 (96%) dos 26 dias de nevoeiro foram superiores a 74%.

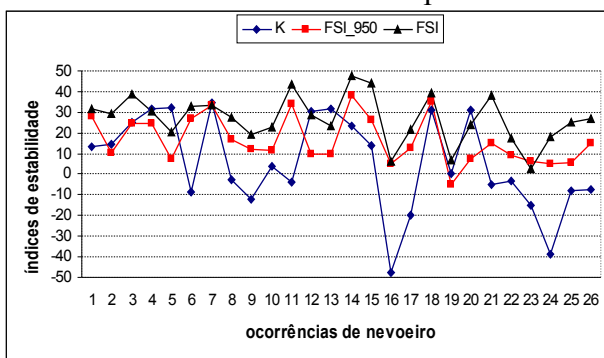


Figura 1- índices de estabilidade às 00Z

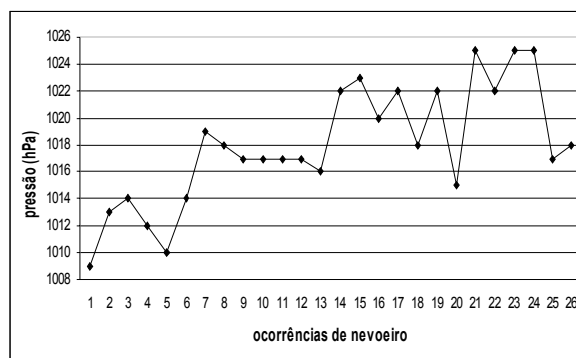


Figura 2- Frequência de pressão às 00Z

Na figura 3 os valores da DP na superfície foram $\leq 4^{\circ}\text{C}$ em 24 (92%) dos 26 casos, um comportamento divergente é apresentado na camada superior onde mais de 73% casos a DP é superior a 4°C . O que mostra que a partir das 00Z a atmosfera próxima a superfície vai ganhando mais umidade até saturar-se e ocorrer o nevoeiro. A diferença entre a DP da superfície e da camada supe-

rior (920-960 hPa) são obtidas na figura 3. Dos 26 casos, em 24 (92%) indica que a superfície estava mais propícia a formação do nevoeiro, a saturação ficou confinada entre a superfície e a camada superior (960-920 hPa) e essa mesma saturação decresce com a altitude como verificado por Piva e Federova (1999). Em harmonia com a superfície úmida, o gradiente de temperatura entre a superfície e a camada superior (920-960 hPa) indica que a temperatura está aumentando com a altura.

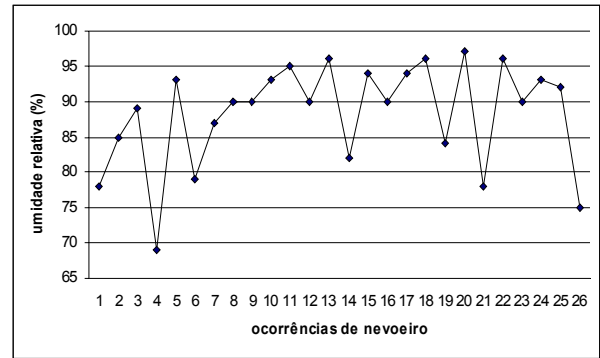
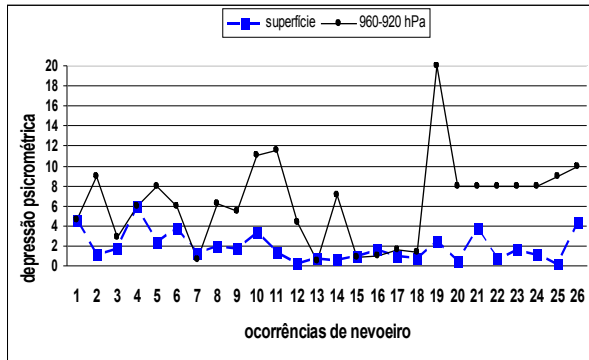


Figura 3 - Depressão psicrométrica da 00Z **Figura 4 - Umidade relativa do ar às 00Z**

Dos 26 casos em 23 (89%) o gradiente de temperatura $\geq -0,4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, como se observa na figura 5, na qual indica que ocorreu CI. A velocidade do vento, a CI e a UR contribuem para a formação do nevoeiro. A figura 6 indica que em 25 dos casos (96%) a velocidade do vento foram ≤ 8 kt na superfície. Essa variável em altitude é diretamente proporcional aos índices FSI e FSI_950, pois, aumento na velocidade do vento nos níveis de referência, ocasiona aumento da turbulência mecânica, a qual diminui a estabilidade da CI.

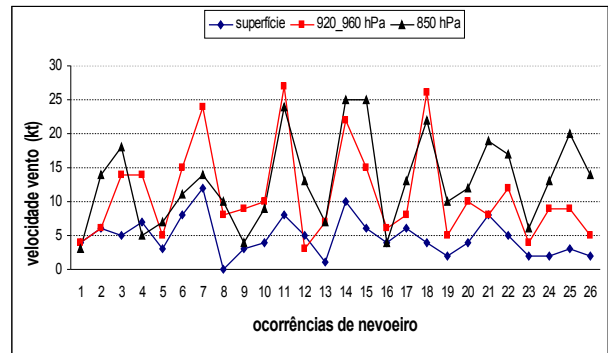
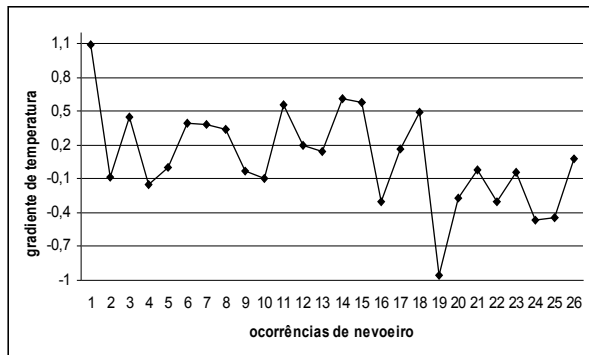


Figura 5- Gradiente de temperatura às 00Z **Figura 6- Velocidade do vento às 00Z**

Nas figuras 1, 3, 5 e 6, observa-se que os índices FSI e FSI_950 são diretamente proporcionais ao gradiente de temperatura, a DP da superfície e a velocidade do vento em altitude e, portanto, menor será a probabilidade de ocorrer o nevoeiro, conforme Piva e Federova (1999), o que responde a primeira questão norteadora, os índices FSI e FSI_950 dependem diretamente da DP da superfície, quanto maior for seu valor menor será a estabilidade e menos saturado estará o ar junto à superfície. A diferença entre a temperatura do ar a 2m e a temperatura do ar em 850 hPa (ou 950 hPa) indica quanto o ar está estratificado, quanto menor for essa diferença maior será a estabilidade. Portanto os índices FSI e FSI_950 estão relacionados com a saturação e a estratificação do ar, desde a superfície até o nível de referência. A segunda questão norteadora indica como preditores de ocorrências de nevoeiro as seguintes variáveis e índices de estabilidade com seus respectivos valores: a) velocidade do vento em superfície ≤ 8 kt; b) gradiente térmico $\geq -0,4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; c) a existência da CI; d) a superfície deve estar mais úmida do que a camada de 960-920 hPa; e) a UR $\geq 74\%$; f) a depressão psicrométrica da superfície ≤ 4 ; g)

a pressão na superfície ≥ 1014 hPa; h) o índice de estabilidade $FSI_{950} \leq 38,4$; e i) o índice de estabilidade $K \leq 34,5$. Avalia-se como preditores o FSI, FSI_{950} e K, isoladamente, e o conjunto das variáveis com os índices FSI_{950} e K, exibidos nas tabelas 3 e 4. A avaliação foi realizada em 340 dias de 2004 e com a combinação dos dados da tabela 3 realizou-se a avaliação dos índices de estabilidade e também a do conjunto. Na tabela 4 confirma-se que ao utilizar o conjunto houve um ganho na previsão de ocorrências de nevoeiro com GA de 83%, Taf de 17% e Iaf de 83%.

Tabela 3- Tabela de contingência com o emprego dos índices e o conjunto

Previsão de nevoeiro	Observação nevoeiro								Total			
	Ocorreu				Não ocorreu							
	FSI	K	FSI_950	Conj	FSI	K	FSI_950	Conj	FSI	K	FSI_950	Conj
Previu	22	25	23	22	249	273	250	54	271	298	273	76
Não Previu	4	1	3	4	65	41	64	260	69	42	67	264
Total	26	26	26	26	314	314	314	314	340	340	340	340

Tabela 4 - Tabela acurácia dos índices e conjunto

Índice de estabilidade	Grau de acerto (%)	Taxa de alarme falso (%)	Índice de alarme falso (%)
FSI	26	79	92
K	19	87	92
FSI_950	26	80	92
Conjunto	83	17	71

4. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que os índices de estabilidade FSI_{950} , K e as variáveis elencados com seus respectivos valores, podem ser considerados como preditores das 00Z que indicam uma tendência de ocorrer nevoeiro até as 12Z no aeroporto de Salgado Filho em Porto Alegre-RS.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao ICEA/DECEA/FAB na pessoa do Dr. e Ten Cel QOEMet Cleber de Souza Corrêa pela disponibilização dos dados de nevoeiros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, J. C.; MAHRT, L. The Nocturnal Surface Inversion and Influence of Clear-Air Radiative Cooling. J. Atmos. Sci., 39, 864-878, 1981.

PIVA, E., FEDOROVA N. Um estudo sobre a formação de nevoeiro de radiação em Porto Alegre. Rev. Bras. Met., v.14, n.2, 47-62,1999.

REYMANN, M.; PIASECKI, J.; HOSEIN, F.; LARABEE, S.; WILLIAMS, G.; JIMENEZ, M.; CHAPDELAIN, D. Meteorological techniques. Tech. Note, Air Force Weather Agency, U.S. Air Force, 1988.