

AVALIAÇÃO DA PREVISÃO DO RISCO DE FOGO DESENVOLVIDA NO INPE APLICANDO O MODELO ETA: ANÁLISE OBJETIVA E COMPARATIVA ENTRE DUAS VERSÕES PARA 2003

Raffi Agop Sismanoglu¹, Alberto W. Setzer²

ABSTRACT

The evaluation of daily forecast of vegetation fire risk to 72 hours with the ETA model were performed applying 2 versions of observed fire risk. The first method does not take the hot spots series in account and the 2nd does, depending upon the precision of the 1st version. The introduction of anomalous-term regarding the occurrence of hot spots in low risk areas for at least 3 past rain less days by 1st version, contributed significantly for the one day prediction maps by new version, mainly in low tax periods of vegetation fire, from January to June and October to December. The skill index improved around of 10 and 30 perceptual points for medium to extreme risk classes (which means more than 95% of 300.000 hot spots occurrences) and from 10 to 22 points for the high zone (85%.of amount). For the 2nd and 3rd forecast days, had not difference among two last days and the skill were 5 points smaller for the medium level regarding the 1st day and high level zones performed the same skills. Thus 95% of hot spots occurred in medium level zones and 80% to high level zones.

RESUMO

Avaliaram-se as estimativas diárias do risco de fogo previsto para 72 horas pelo ETA, utilizando duas metodologias do risco de fogo observado. A primeira desconsidera os focos e a segunda inclui-os condicionado à precisão do cálculo da primeira. A introdução do termo risco-anômalo relativo à ocorrência de focos em áreas de risco baixo em pelo menos 3 dias consecutivos, pelo primeiro método, contribuiu significativamente no cálculo do risco para 1 DIA pela nova versão, principalmente em épocas de baixa temporada de queimadas. Os índices de acertos melhoraram entre 10 e 30 pontos percentuais para a curva média (mais de 95% dos 300.000 focos analisados) e entre 10 e 22 pontos para a curva de alto risco (85% do total dos focos). Para o segundo e terceiro dias de previsão não houve diferenças no desempenho entre os métodos e os índices de acertos no total foram apenas 5

¹ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos- CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, Brasil
Rod. Presidente Dutra, Km.39, Cachoeira Paulista, S.P. (12) 31869323
raffi@cptec.inpe.br

² CPTEC/INPE - asetzer@cptec.inpe.br

pontos menores para o nível médio e para o nível alto não houve alteração em comparação com os 3 dias previstos 95% dos focos ocorreram nas áreas de risco médio de junho a julho, e para o nível de risco alto o índice foi de 80%.

INTRODUÇÃO

O conhecimento dos níveis de risco de ocorrência de incêndio ao longo dos dias em áreas vegetadas está diretamente associado à importância do desenvolvimento do [seu sistema operacional de detecção de queimadas](#) e monitoramento diário de queimadas em quase toda a América do Sul realizado pelo INPE desde a década de 80. De acordo com Setzer (2002), desde 1998, o grupo de queimadas da Divisão de Sistemas e Satélites Ambientais do INPE, vem desenvolvendo e aprimorando o método de estimativa do risco de fogo (RF) que utiliza fatores climáticos tais como a precipitação, umidade mínima e temperatura máxima do ar, e recentemente, de acordo com Sismanoglu e Setzer (2004), inclui os focos detectados pelo sistema NOAA 12 e 16. A versão diagnóstica do RF foi adaptada para a opção prognóstica para até 3 dias, utilizando-se os modelos do CPTEC. Inicialmente aplicava-se apenas o modelo GLOBAL de baixa resolução espacial (200km). A partir de 2002, os mapas de riscos PREVISTOS também passaram a ser gerados com o modelo regional ETA de maior resolução (40Km), ampliando o domínio original para quase toda a América do Sul. Outras referências podem ser encontradas em Sismanoglu e Setzer (2004). O modelo Eta é um modelo de mesoscala, em ponto de grade, de equações primitivas. A versão do modelo Eta que roda operacionalmente no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) é hidrostático e cobre a maior parte da América do Sul e oceanos adjacentes. A resolução horizontal atual é de 40 km e a vertical de 38 camadas. As previsões são fornecidas duas vezes ao dia, uma com condição inicial às 0000 e outra às 1200 UTC. A condição inicial é proveniente da análise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e as condições de contorno lateral são provenientes das previsões do modelo global do CPTEC e atualizadas a cada 6 horas. O prazo de integração é de 72 horas. A grade horizontal é a grade E de Arakawa e a coordenada vertical é a coordenada eta. A letra grega eta (η) dá o nome ao modelo. A topografia é representada em forma de degraus. As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura do ar, componentes zonal e meridional do vento, umidade específica, água líquida da nuvem, pressão à superfície e energia cinética turbulenta.

A versão prognóstica depende, além das mesmas variáveis do RF (de modo previsto) tais como precipitação total em 6hs; temperatura e umidade do ar (nível de 2 metros às 18UTC), das informações do RF do dia anterior do início do cálculo, pois as saídas numéricas do ETA são das 18 UTC a partir das análises das 00 UTC. Por exemplo, para o cálculo das previsões dos dias "n+1", "n+2", "n+3", é

utilizado o RF do dia "n". Operacionalmente o RF do dia "n" é gerado às 23:00 horas local e as previsões de 72 horas do RF às 7:00 horas local do dia "n+1". De acordo com o mencionado anteriormente existem duas versões em uso do RF, cujas diferenças principais estão na utilização dos focos do Noaa 12 ou 16. Referencias podem ser encontradas em Sismanoglu e Setzer (2004).

Este trabalho tem por finalidade de avaliar objetivamente o desempenho diário do cálculo do risco PREVISTO de fogo (RP) nos 12 meses de 2003, usando as duas versões de cálculo do RF e comparando-os por meio dos dados do Noaa 12, para 72 horas de prognósticos.

MATERIAL e MÉTODOS

Cálculo do Risco de Fogo (RP)

A seguir será apresentada resumidamente a metodologia RP para até 3 dias, independente do modelo de previsão numérica adotado. Os cálculos dos RP para as duas versões foram baseados com os respectivos RF's. De acordo com os esquemas abaixo citados, a partir de um único RF, relativo ao do dia anterior ao primeiro Risco Previsto, é determinado o RP para 3 dias.

As temperaturas máximas previstas e umidades mínimas são relativos das 18 UTC.

1º Dia

Considerando que: $pp = 0.01 * T + 0.7$; $u = -(0.0056 * UR + 1.2306)$;

$$p = (\exp(-0.231 * prec1)); tp = RF * pp * u * p \quad e \quad p1 = \exp(-0.107 * prec1)$$

$$RP1 = tp * p1$$

em que

T = temperatura máxima do ar prevista do 1º dia (°C);

UR= Umidade mínima do ar prevista do 1º dia;

prec1 = precipitação prevista (mm) das 18UTC do 1º dia;

RF = risco de fogo observado um dia antes (diagnosticado pelos dois as duas versões);

RP1 = risco previsto do 1º dia

2º Dia

Considerando que: $pp = 0.01 * T2 + 0.7$; $u = -(0.0056 * UR2 + 1.2306)$;

$$p = (\exp(-0.231 * prec2)); tp = RF * pp * u * p \quad e \quad p2 = \exp(-0.107 * prec1),$$

temos:

$$RP2 = tp * p2$$

em que

T2 = temperatura máxima do ar prevista do 2º dia (°C);

UR2= Umidade mínima do ar prevista do 2º dia;

prec2 = precipitação prevista (mm) das 18UTC do 2º dia;

prec1 = precipitação prevista (mm) das 18UTC do 1º dia;

RF = risco de fogo observado dois dias antes (diagnosticado pelas duas versões);

RP2 = risco previsto do 2º dia.

3º Dia

Considerando que: $pp = 0.01 * T3 + 0.7$; $u = -(0.0056 * UR3 + 1.2306)$;

$$p = (\exp(-0.231 * prec3)); tp = RF * pp * u * p; p2 = \exp(-0.107 * prec2)$$

$$p3 = \exp(-0.067 * prec1)$$

$$RP3 = tp * p2 * p3$$

em que

T3 = temperatura máxima do ar prevista do 3º dia (°C);

UR3= Umidade mínima do ar prevista do 3º dia;

prec3 = precipitação prevista (mm) das 18UTC do 3º dia;

prec2 = precipitação prevista (mm) das 18UTC do 2º dia

prec1 = precipitação prevista (mm) das 18UTC do 1º dia

RF = risco de fogo observado três dias antes (diagnosticado pelas duas versões);

RP3 = risco previsto do 3º dia

Foram gerados os Risco Previstos pelas duas versões, isso é, pelo RF (sem focos) e pelo RF (com focos persistidos) de acordo com as saídas dos 3 dias do modelo ETA para o ano de 2003. Os resultados diários, pelas duas versões, dos 12 meses de RP's foram comparados pixel a pixel (com 25 km de resolução) com os respectivos focos observados do dia de acordo com as previsões, sendo acumulados em pixels da mesma resolução. As matrizes dos RP's X focos foram agrupadas de acordo com as classe de níveis risco médio a crítico e alto a crítico.

Cálculo do Risco de Fogo (RF)

O Risco de Fogo (RF) também chamado de "Risco Observado" é a base teórica para o RP.

A seguir será apresentada, resumidamente a seqüência de cálculos do RF, estimados por Setzer*.

Determina precipitação em mm nos períodos 1 dia , 2-4dias, 5-9 dias, 10-15 dias, 16-30 dias,-31-60 dias e 61-90 dias.

Cada classe de precipitação, possui uma função exponencial $f(x)$ variando de 0 a 1, chamados de "fatores de precipitação" que determinarão o período de segura (PSE) :

$$f(x_{n=1..90}) = e^{-A'_{(n=1,7)} \cdot P_{(n=1,7)}}$$

em que A' é constante para cada função, variando de -0.00018, para 90 dias de chuva acumulada a -0.1156, para 1 dia de chuva acumulada e P é a precipitação acumulada em mm

Determina o número de Dias de Secura a partir dos fatores de precipitação.

$$PSE = 105 * f(x1) * f(x5) \dots f(x90)$$

Determina o risco de fogo "básico" (máx.=0.9 dependendo de PSE) p/ cada um dos 5 tipos de vegetação.

CLASSVGE T (N=1,5)	VEGET.1	VEGET.2	VEGET.3	VEGET.4	VEGET.5
TipoVeget	Omr.densa	Omr.Aberta	Contato+Campinarana	Estacional+Decídua+Semi-Deciaual	Não Floresta
Constte. A	1.715	2	2.4	3	4

$$\text{Risco Básico } (RB_{n=1,5}) = 0,9 * [1 + \sin(A_{n=1,5} * PSE)] / 2$$

Corrige o risco de fogo para a umidade relativa da tarde.

$$RU_{n=1,5} = RB_{n=1,5}(-0.056 * UR + 1.2306),$$

em que UR é umidade relativa observada das 18UTC

Corrige o risco de fogo para a temperatura máxima

$$RT_{\max n=1,5} = RU_{n=1,5}(0.01T_{\max} + 0.7),$$

em que T_{\max} é a temperatura observada das 18UTC

Determina o Risco de Fogo (RF, variando de 0, risco mínimo a 1, risco crítico)

$$RF_{n=1,5} = RT_{\max n=1,5} * RU_{n=1,5} \quad \text{eq. 01}$$

Obs: De acordo com o mencionado por Sismanoglu e Setzer (2004) o Risco de Fogo foi adaptado em 2004, para uma versão que inclui a presença dos focos detectados pelo Noaa 12 ou 16. Nesta versão, o RF é forçado para um valor alto (ex. 0,9) caso o RF padrão, determinado conforme a *equação 01*, calcule como RF baixo (< 0.4) um pixel no qual foi observado a presença de foco nos em pelo menos 1 dos 3 dias anteriores e que não houvesse registro de chuvas no local.

RESULTADOS

Os resultados das avaliações das porcentagens de acertos (de focos) por classes de níveis de RP, para os 3 dias serão apresentados em separados:

1º DIA

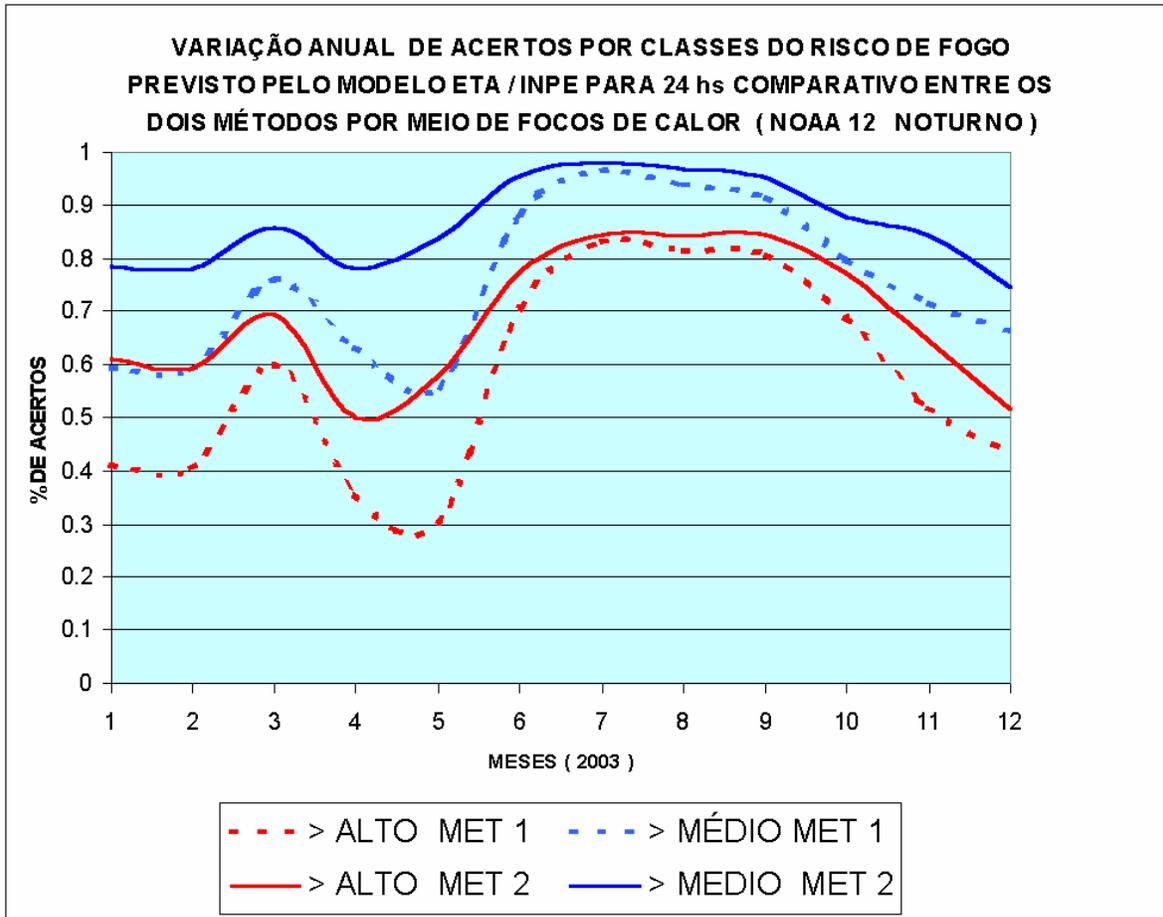


Figura 01 - Resultado final: percentual de acertos do total de focos associado às classes de risco de fogo PREVISTO p/ 1º DIA, comparativo entre os dois as duas versões (MET 2) e método sem focos (MET 1). Fonte: INPE/DSA

De acordo com o gráfico da figura 01, a linha em azul contínua representa a porcentagem de acertos do total de focos observados na América do Sul que foram diagnosticadas entre os níveis MÉDIO a CRÍTICO pela metodologia nova (risco persistido), a curva azul tracejada representa a mesma curva com a metodologia anterior. A linha em vermelha contínua representa a porcentagem de acertos do total de focos observados na América do Sul que foram diagnosticadas entre os níveis ALTO a CRÍTICO pela metodologia nova (risco persistido), e a curva vermelha tracejada representa a mesma curva com a metodologia anterior.

Por exemplo: se considerarmos o mês de janeiro, verificaremos que 40% dos focos deste mês foram diagnosticadas como risco alto a crítico e 60% como risco médio a crítico pela metodologia anterior. Pela nova metodologia os mesmos índices de acertos seriam de 61% e 79% respectivamente.

De modo geral, a introdução do termo do foco persistido, melhorou entre 10 e 30 pontos percentuais (em média) os índices de acertos das curvas nos dois níveis estudados, especialmente em períodos de baixa temporada de queimadas no Brasil, i.e., de janeiro a junho e também observou-se melhora de setembro a dezembro (10 pontos). Deve-se salientar que a maioria dos focos no primeiro período correspondem aos dos países da América do Sul e os do segundo bloco são do norte da Amazônia e do NE, e que de acordo com Sismanoglu e Setzer (2004), estão sujeitos à falhas sistemáticas no processo de aquisição dos dados pelo Noaa 12 e/ou a falta de dados representativos especialmente de precipitação. Ou seja, a introdução do termo do foco persistido, pela sua própria definição, pode ter compensado a má interpretação teórica do risco calculado pelo método. Segundo Chou et al. (1998), nestas regiões de baixa densidade de dados, o modelo Eta tende a erros numéricos e em especial nas estações de estiagem.

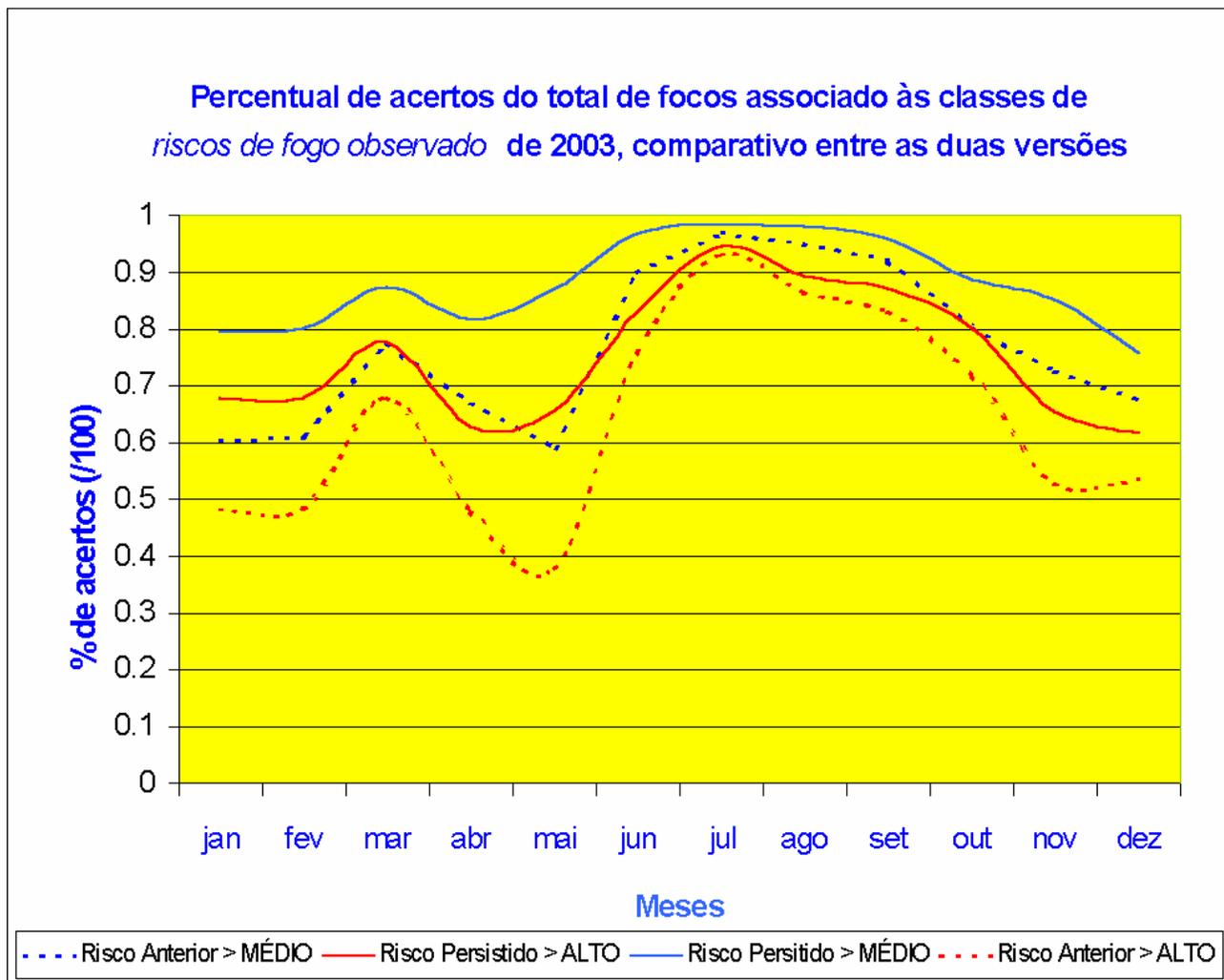


Figura 02 - Resultado final: percentual de acertos do total de focos associado às classes de risco de fogo observados de 2003, comparativo entre as duas versões: foco persistido e método sem focos. Fonte: INPE/DSA (Sismanoglu e Setzer (2004))

No restante do ciclo da alta temporada de queimadas compreendido entre junho e setembro, a contribuição do foco melhorou em 2 pontos percentuais os índices de acertos das curvas dos dois níveis.

Quantitativamente, em média mais de 95 % dos focos concordaram com os níveis de riscos MÉDIO a CRÍTICO nos períodos mais propícios à ocorrência de focos, concordando com o risco teórico observado (RF) para o mesmo dia, verificado na figura 02 que foi determinado por Sismanoglu e Setzer (2004). Praticamente não há diferenças entre as curvas de níveis de riscos MÉDIO a CRÍTICO (azul), entre a observação e a previsão de um dia. Porém para níveis de riscos ALTO a CRÍTICO

(vermelha) cuja previsão é mais complicada, a diferença é de 10 pontos percentuais entre a observação e a previsão, para ambas versões de previsão do RF.

Ainda de acordo com as figuras 1 e 2, percebe-se também que tanto o Risco Previsto de 1 dia quanto ao Risco Observado do mesmo dia, obtiveram 5 meses seguidos de acertos superiores a 90% na classe MÉDIO a CRÍTICO.

Outro aspecto interessante pode ser verificado com a curva de nível de risco MÉDIO a CRÍTICO do método anterior que superou a curva de ALTO a CRÍTICO do método atual em todo o período, sugerindo algumas mudanças que podem ser introduzidas nas classes de risco para melhor interpretação dos resultados.

Com relação à previsibilidade do Eta, e em comparação com os resultados do Risco Previsto de 1 dia, vários autores (Seluchi e Garreaud, 2002); Black (1994); confirmam que o modelo possui boa confiabilidade nas previsões de chuva em 24hs. Chou et al. (1998) analisado a previsibilidade mensal do Eta mostraram também a boa performance das previsões numéricas nos períodos secos e em especial no Brasil Central, região de ocorrência das maiorias das queimadas neste período.

Ainda de acordo com Chou et al.(1998), nos meses de novembro e dezembro e especialmente na região NE, a habilidade de o Eta prever a precipitação é menor, explicando numericamente então, a tendência de queda nos índices de acertos do Risco Previsto uma vez que o NE contribui significativamente com o total dos focos nestes meses.

2º DIA

Para o 2º dia de previsão, de acordo com a figura 3, os comportamentos das duas curvas de nível ALTO a CRÍTICO e MÉDIO a CRÍTICO para ambas versões foram idênticas, isto é, para prognósticos de 48hs não houve contribuição da inclusão do termo do foco persistido do RF. Esse fato pode estar relacionado com as baixas qualidades das previsões do Eta para o 2º dia que estão explícitos nas equações dos Risco Previstos. Conseqüentemente, a tendência de acertos diminuiu 20 pontos percentuais com relação ao prognóstico de 1 dia nos períodos de baixa temporada de queimadas para os dois níveis. Pode-se perceber o comportamento similar entre as duas curvas entre os 1º e 2º dias de previsão pelo primeiro método. De acordo com Palmeira et al. (2002), que estudaram a previsibilidade do Eta sobre a região sudeste no verão, a precisão das previsões de precipitação cai para 50% de acerto.

A partir de maio o índice melhora e atinge o máximo de 95 % de concordância em julho e agosto para o nível MÉDIO a CRÍTICO e de 80 % para o nível ALTO a CRÍTICO, e se estende até novembro. Com relação ao 1º dia de previsão, a amplitude do período de melhor resposta do modelo diminuiu em 2 meses neste caso. A partir de outubro os índices diminuem para 70% e 45 %

respectivamente, mantendo a tendência até fevereiro. Em março atingem o máximo secundário cujos índices são de 75 % e 60 % respectivamente. Ainda de acordo com a figura 3, o pior desempenho ocorre em maio, em parte explicada pelo baixa quantidade de focos.

De acordo com as figuras 2 e 3, percebe-se também que tanto o Risco Previsto de 2 dias quanto ao Risco Observado de dois dias atrás, obtiveram 4 meses seguidos de acertos superiores a 90% na classe MÉDIO a CRÍTICO.

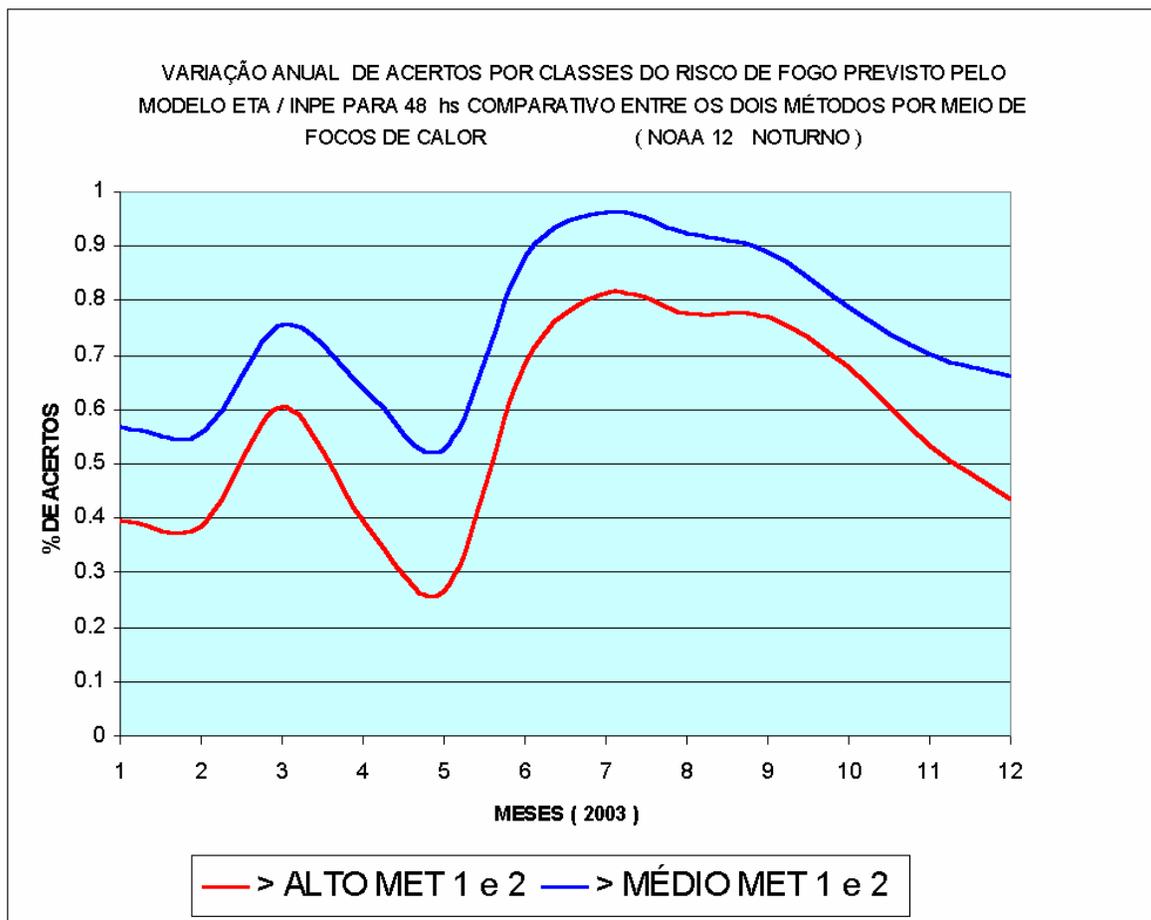


Figura 03 - Resultado final: percentual de acertos do total de focos associado às classes de risco de fogo PREVISTO p/ 2º DIA, comparativo entre as duas versões: foco persistido (MET 2) e método sem focos (MET 1). Fonte: INPE/DSA

3º DIA

Para o 3º dia de prognósticos, de acordo com a figura 4, os comportamentos das duas curvas de nível ALTO a CRÍTICO e MÉDIO a CRÍTICO para ambas versões também foram idênticas, isto é, para prognósticos de 72hs também não houve contribuição da inclusão do termo do foco persistido do RF. Consequentemente, a tendência de acertos diminuiu 20 pontos percentuais com relação ao

prognóstico de 1 dia nos períodos de baixa temporada de queimadas para os dois níveis. Pode-se perceber o comportamento similar entre as duas curvas entre os 1º e 3º dias de previsão pelo primeiro método.

A partir de maio o índice tende a melhorar, atingindo o máximo de 95 % de concordância apenas no mês de julho para o nível MÉDIO a CRÍTICO e de 80 % para o nível ALTO a CRÍTICO. Com relação ao 1º dia de previsão, a amplitude do período de melhor resposta do modelo diminuiu em 3 meses neste caso. Deste mês até setembro, os índices diminuem para 90% e 85 % respectivamente, Após setembro a fevereiro a queda torna-se mais acentuada, ou seja 55 % e 29% respectivamente. Em março atingem o máximo secundário cujos índices são de 75 % e 58 % respectivamente. Ainda de acordo com a figura 3, o pior desempenho ocorre em maio, em parte explicada pelo baixa quantidade de focos.

De acordo com Rozante e Chou (2002), que também estudaram a previsibilidade do Eta, em termos de Pressão Atmosférica do ar, a precisão das previsões desta variável, tende a cair para 60% de acerto nas previsões de mais de 60 horas integração.

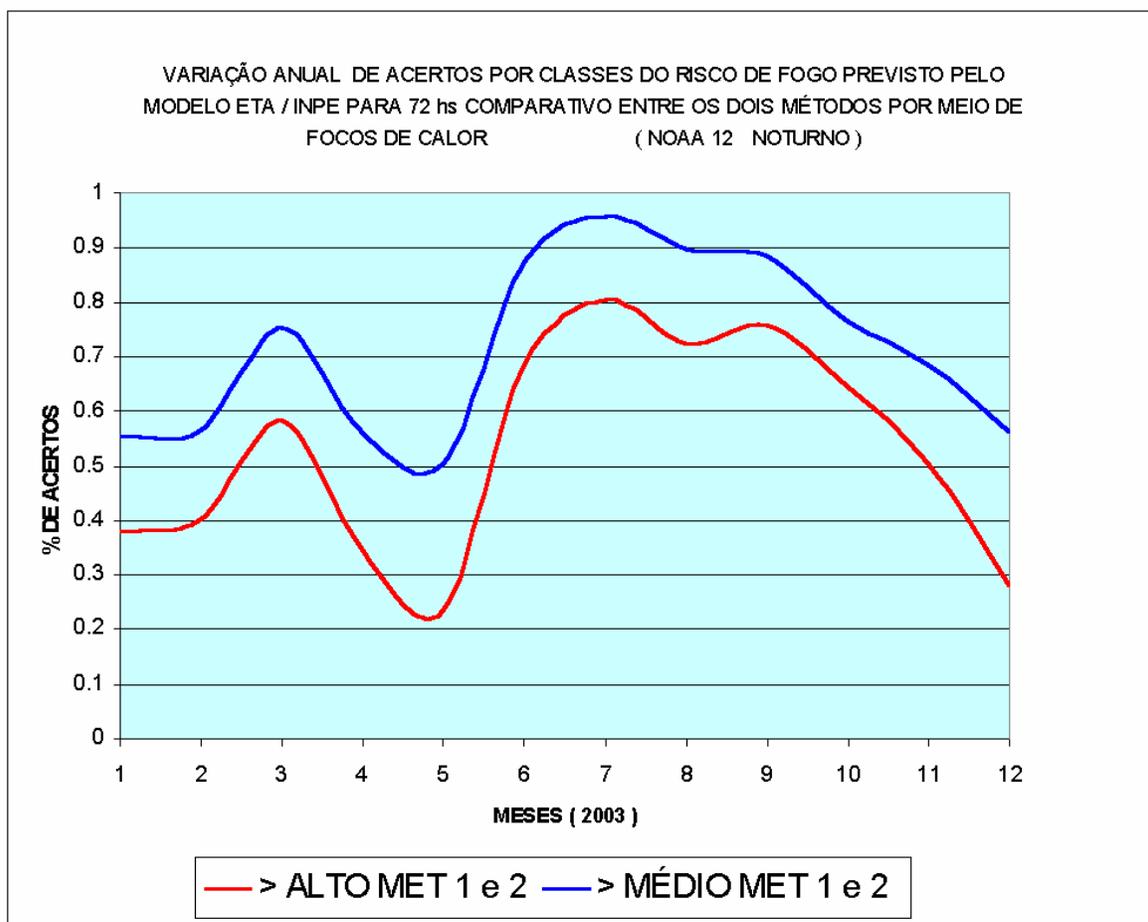


Figura 04 - Resultado final: percentual de acertos do total de focos associado às classes de risco de fogo PREVISTO p/ 3º DIA, comparativo entre as duas versões: foco persistido (MET 2) e método sem focos (MET 1). Fonte: INPE/DSA

CONCLUSÃO

A avaliação anual do percentagem de acertos do risco de fogo, previsto para 3 dias pelo modelo ETA, nas classes ALTA a CRÍTICA e MEDIA a CRÍTICA, em comparação com os focos detectados pelo Noaa 12 - 21UTC apresentou resultados bastante satisfatórios, cujos índices de acertos superaram respectivamente em mais de 85 % e 95% considerando as duas metodologias de cálculo.

Foi observado que nos períodos de baixa ocorrências de queimadas o novo método superou em 30 pontos percentuais o mesmo índice de acertos na classe MEDIA a CRÍTICO do método anterior, para um dia de previsão.

Todavia a inclusão dos focos na determinação do RF, não contribuiu para a melhoria das previsões do RF do segundo e terceiro dias. Porém os índices de acertos mantiveram o mesmo patamar, porém com grau de ocorrência menor, isso e', menor amplitude temporal.

As avaliações poderiam ser regionalizadas, mostrando as regiões de melhor desempenho do modelo.

Os resultados demonstram, especialmente para a classe ALTA e CRÍTICA do primeiro dia de previsão, que "focos fictícios" poderiam ser estimados para serem assimilados pelos modelos de dispersão de poluentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar o apreço às diversas pessoas e Instituições Públicas que colaboraram ou financiaram diretamente à execução destes trabalhos, em especial o INPE, IBAMA/PNUD pelo apoio técnico e financeiro e às equipes do DSA, do CPTEC (Clima, Srs. Lincoln M. Alves e Christopher A. C. Castro e na Metop, Adma e Rozante e à Dra. Sin Chan Chou) pelo fornecimento dos dados numéricos do modelo ETA e pelos esclarecimentos diversos.

REFERÊNCIAS

- Black, T.L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Wea and Forecasting*, 9, 256-278. 1994.
- Chou, S. C., Nunes, A. M. B., Cavalcanti, I. F. A. Extended range forecasts over South America using the regional Eta Model. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, 1998, Rio de Janeiro, RJ, **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- Janjic, Z. I., 1994: The step-mountain coordinate: Further developments of the convection, viscous sub-layer, and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, 122, 927-945.
- Palmeira, R., M., J., Tanajura, C.A S, Cárdenas, J.W. Validação do modelo Eta na previsão de tempo sobre o sudeste durante o verão de 2001/2002. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR, **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002.
- Rozante, J.R., Chou, S.C. Avaliação das previsões do modelo eta de alta resolução rodado em uma plataforma de trabalho (WorkStation). . In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR, **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002.
- Seluchi M., Garreaud, R.D. Previsão da convecção sobre o Altiplano Sul Americano utilizando o modelo regional Eta/CPTEC. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR, **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002.
- Setzer*, Alberto W. (Pesquisador INPE). Comunicação Pessoal. (25 set. 2002).
- Sismanoglu, R.A. e Setzer, A.W. Risco de Fogo para a vegetação da América do Sul: Comparação de duas versões para 2003. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais.** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.(Submetido).

Mesinger, F., Z. I. Janjic, S. Nickovic, D. Gavrilov, e D. G. Deaven, 1988: The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. *Monthly Weather Review*, 116, 1493-1518.