

Risco de Fogo – Resumo do Método de Cálculo

Alberto W. Setzer e Raffi A Sismanoglu
DSA / CPTEC / INPE
(Versão 5, Fev/2006)

Conceito do Risco de Fogo.

Este Risco de Fogo (RF) foi desenvolvido internamente no CPTEC, com base na análise da ocorrência de centenas de milhares de queimadas nos principais biomas (tipos de vegetação) do País durante os últimos anos, em função das condições e históricos meteorológicos na área de cada evento (Setzer et al., 2002, Sismanoglu et al., 2002). O seu princípio é o de que quanto mais dias sem chuva, maior o risco de queima da vegetação; adicionalmente, são incluídos no cálculo o tipo e o ciclo natural de desfolhamento da vegetação, temperatura máxima e umidade relativa mínima do ar, assim como a presença de fogo na região de interesse. A referência dos cálculos está nos “Dias de Secura”, ou “Secura”, (S), que é um número hipotético de dias sem nenhuma precipitação durante os últimos 120 dias.

É fundamental levar em conta que o RF indica quão propícia a vegetação está para ser queimada, e que a queima na grande maioria dos casos é iniciada pelo Homem e não naturalmente pelos raios. Neste contexto, a velocidade do vento não é considerada nos cálculos, pois ela se refere às condições de propagação do fogo e não de seu início; constata-se que com ventos a população evita iniciar queimadas por receio de que os danos ocorram de maneira imprevisível. Também não se considera a umidade do solo nos cálculos, pois esta é uma variável decorrente do histórico da precipitação e não necessariamente válida; por exemplo, uma área que foi desmatada e cuja vegetação secou por alguns meses poderá ser queimada poucos dias após um período de chuvas intensas, pois mesmo o subsolo estando encharcado a matéria orgânica estará pronta para a queima se houver forte insolação e a temperatura do ar for alta.

O “RF observado” resulta de dados reais observados em estações de superfície, enquanto que os “RF Previstos” para alguns dias (Sismanoglu e Setzer, 2004b) e os “RF Futuros” para algumas semanas (Sismanoglu e Setzer, 2004c), são calculados a partir das previsões de modelos numéricos de tempo para precipitação e temperatura e umidade do ar usando como condição de inicial o RF Observado.

Fontes de Dados.

Os campos de dados de temperatura máxima e umidade mínima do ar das 18h UTC à superfície são extraídos das análises NCEP feitas no CPTEC pelo modelo de escala Global T213 de 62 km. Também a opção das estações meteorológicas de superfície são “krigados” (interpolados) para toda área.

O campo de precipitação é obtido na resolução de 4 km a partir das estimativas de precipitação do “hidroestimador” geradas pela DSA com imagens dos satélites GOES-10 e MSG-2. Opta-se pelas estimativas de satélite, pois a densidade de estações de superfície é limitada em várias regiões e esta é a variável mais importante no cálculo do risco.

O mapa de tipos de vegetação é adaptado da imagem-mosaico da América do Sul mais recente de Índice de Vegetação gerada pela DSA com as imagens AQUA-MODIS. 5 classes principais de vegetação são empregadas: Ombrofila Densa, Ombrofila Aberta, Contato + Campinarana, Estacional + Decídua + Semi-Decidual e Não Floresta.

As previsões de RF para até 3 dias são geradas a partir das saídas dos modelos regional ETA de 20 km de resolução e do modelo de escala Global T213 de 62 km. Além desses, os modelos BRAMS com duas grades específicas e o ETA com 40 km também são utilizados para fins de

pesquisa e em aplicações específicas de usuários. As previsões semanais estendidas para até um mês com resolução 40 km são geradas com o ETA.

Obs.: as versões anteriores dos riscos são mantidas em funcionamento para fins de aprimoramento e pesquisa aplicada.

Seqüência do Cálculo do Risco de Fogo Observado

O Risco de Fogo Observado (RF) é calculado com dados meteorológicos observados e a ocorrência de focos. A partir dele são determinados os demais riscos, como o “Risco Previsto” para até três dias com os modelos ETA (Sismanoglu e Setzer, 2004b) e Global T213, e o “Risco Futuro” semanal para até 4 semanas aplicando o ETA com rodadas mais estendidas (Sismanoglu e Setzer, 2004c). A seqüência de cálculos do RF, criada e aprimorados por Setzer (INPE, 2004) desde 1998 está resumida a seguir.

1) Determina diariamente para a área geográfica de abrangência, o valor da precipitação em mm acumulada para onze períodos imediatamente anteriores, de 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 30, 31 a 60, 61 a 90, e 91 a 120 dias. Os dados pontuais das estações de superfície são “krigados” (interpolados) para toda área, ou são determinados a partir das estimativas do hidroestimador, dependendo da versão utilizada do RF.

2) Calcula os “Fatores de Precipitação”, (FP), com valor de 0 a 1, para cada um dos onze períodos, por meio de uma função exponencial empírica da precipitação em milímetros de chuva para cada um deles. As equações são respectivamente:

$FP1 = \exp(-0.14 * \text{precip})$; $FP2 = \exp(-0.07 * \text{precip})$; $FP3 = \exp(-0.04 * \text{precip})$; $FP4 = \exp(-0.03 * \text{precip})$; $FP5 = \exp(-0.02 * \text{precip})$; $FP6a10 = \exp(-0.01 * \text{precip})$; $FP11a15 = \exp(-0.008 * \text{precip})$; $FP16a30 = \exp(-0.004 * \text{precip})$; $FP31a60 = \exp(-0.002 * \text{precip})$; $FP61a90 = \exp(-0.001 * \text{precip})$, e; $FP91a120 = \exp(-0.0007 * \text{precip})$.

3) Calcula os “Dias de Secura”, (S), pela multiplicação dos FP conforme a equação:

$$S = 105 * FP1 * FP2 FP91a120$$

Nesta equação, uma precipitação de alguns milímetros no dia anterior ao cálculo tem efeito redutor da Secura S muito maior que se houvesse ocorrido, por exemplo, 2 semanas antes. Assim, incorpora-se no cálculo o regime anual de precipitação, identificando-se é uma precipitação no período de estiagem ou não.

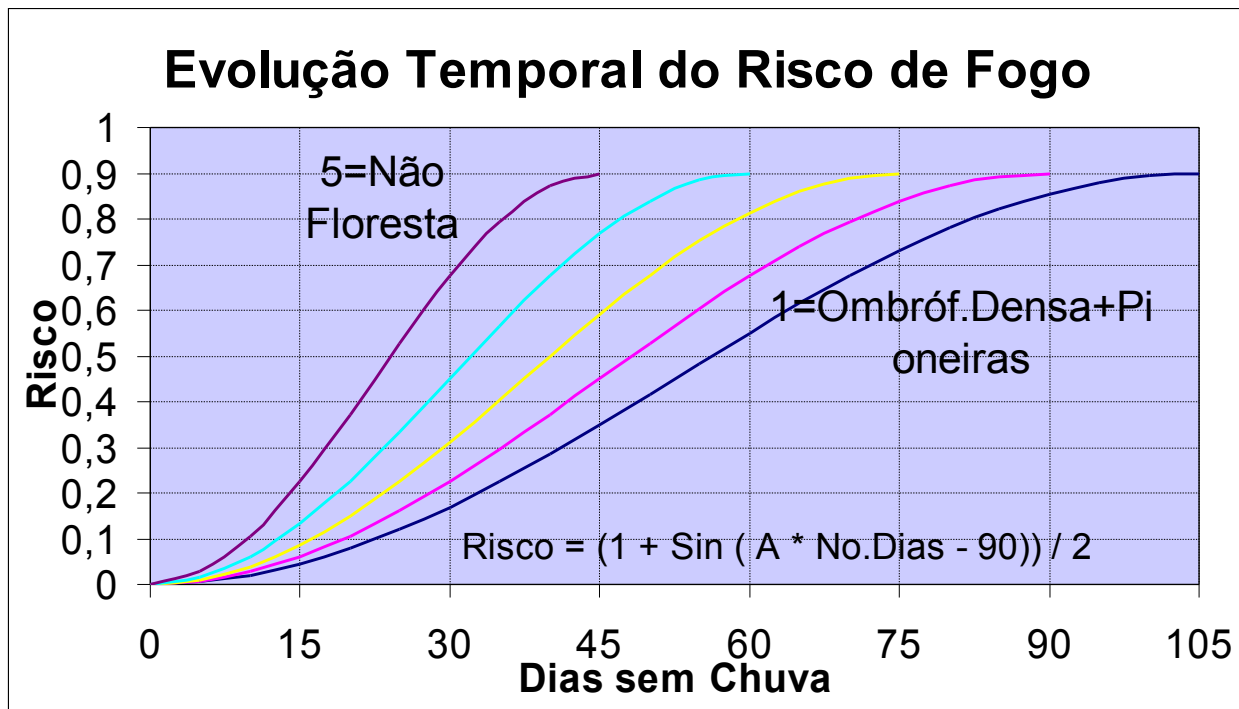
4) Determina o risco de fogo "básico" p/ cada um dos cinco tipos de vegetação considerada, por meio da equação:

$$RB^{n=1,5} = 0.9 \left[1 + \text{seno} \left(A_{n=1,5} * PSE \right) \right] / 2$$

CLASSE DE VEGETAÇÃO	1	2	3	4	5
Tipo Vegetação	Ombrofila Densa	Ombrofila Aberta	Contato + Campinarana	Estacional + Decídua + Semi-Decidual	Não Floresta
Constante “A”	1.715	2	2.4	3	4

O Risco Básico tem valor máximo 0,9, e aumenta conforme uma curva senoidal ao longo do tempo, tendo sido este o padrão escolhido pois a variação da intensidade e duração da luz solar ao longo do ano também é senoidal e a fenologia da vegetação naturalmente segue o mesmo ritmo.

A figura a seguir ilustra a variação do Risco Básico utilizando as equações e conceitos acima. Notar que o eixo dos “dias sem chuva” indica tanto um período real de dias sem chuva, como também os “dias de seca”, que correspondem a um período hipotético sem chuva calculado a partir da quantidade e distribuição temporal das chuvas ocorridas. A noção de “dias sem chuva” ou “dias de seca” se constitui no princípio básico deste método.



5) Corrige o risco de fogo para a umidade relativa mínima do ar. O risco RU aumenta para umidade abaixo de 40% e diminui para valores acima desta referência. Usa-se os dados de umidade das observações das 18h UTC, supostamente seu mínimo. A equação de ajuste linear é:

$$RU = RB * (-0.006 * UR_{\min} + 1.3)$$

6) Corrige o risco de fogo para a temperatura máxima do ar. O risco RT aumenta para temperaturas acima de 30 C e diminui para valores abaixo desta referência. Usam-se os dados de umidade das observações das 18h UTC, supostamente seu máximo. A equação de ajuste linear é:

$$RT = RU * (0.02T_{\max} + 0.4)$$

$$RF = RU$$

7) Gera o Risco Observado, RF, atribuindo as seguintes categorias: Mínimo de 0 a 0,15; Baixo de 0,15 a 0,4; Médio de 0,4 a 0,7; Alto de 0,7 a 0,95,e; Crítico acima de 0,95

8) Quando verifica-se que em áreas com RF Mínimo e Baixo ocorre algum foco de queima detectado pelos satélites, altera-se o valor do RF para Alto, isso é, uma célula de < 0.4 por 0.9.

Alguns exemplos do RF e Avaliação do Desempenho

Avaliações diárias do desempenho da atual versão 5 de cálculo do Risco de Fogo podem ser acompanhadas em http://www.cptec.inpe.br/queimadas/proarco/amsul/evokri_V5_2006.gif.

A seguir são apresentados alguns resultados do estudo de caso que avaliou o RF em conjunto com os respectivos focos NOAA-12 ocorridos no período de estiagem de 2004, testando 3 versões anteriores à atual.

a) **Os resultados** da avaliação da porcentagem de acertos dos cerca de 217.000 focos detectados com o NOAA-12 no período de julho a outubro de 2004, distribuídos em classes de níveis de risco de fogo, está na **Tabela 1 abaixo**.

Classe de Risco	Meses	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Total
	Focos	21.800	50.600	95.000	49.500	217.000
Crítico	versão 1	1 %	18 %	41 %	28 %	22 %
	versão 2	87 %	90 %	93 %	89 %	90 %
	versão 3	87 %	91 %	95 %	92 %	91 %
Alto e Crítico	versão 1	66 %	83 %	87 %	72 %	77 %
	versão 2	94 %	97 %	98 %	96 %	96 %
	versão 3	95 %	97 %	98 %	96 %	97 %
Médio,	versão 1	93 %	96 %	95 %	83 %	92 %
Alto e	versão 2	98 %	99 %	99 %	97 %	98 %
Crítico	versão 3	99 %	99 %	99 %	98 %	99 %

Tabela 1. Porcentagens de acertos da ocorrência dos focos de queimadas NOAA-12 em áreas com os seguintes riscos de fogo da vegetação para três versões de cálculo em 2004: Médio, Alto e Crítico; Alto e Crítico e; Crítico.

Em termos gerais, a introdução dos novos termos de precipitação na Versão 3 melhoraram discretamente os índices de acertos das curvas em comparação com a Versão 2: foram poucos pontos percentuais em relação à média, nas três classes estudadas. Porém, em relação à Versão 1, as diferenças são muito significativas uma vez que a presença de uma queima em área de baixo risco nominal prevê em pelo menos 3 dias novas ocorrências de fogo no mesmo ponto de grade, desde que não ocorra precipitação.

De acordo com a **Tabela 1**, no período de maior frequência de queimas, de agosto e setembro, a Versão 3 melhorou em 2 pontos percentuais os índices de acertos das curvas dos nível máximo (Crítico) em relação à Versão 2, índices estes considerados satisfatórios. O aumento mesmo pequeno, deve refletir positivamente nos cálculos dos riscos previstos utilizando os modelos numéricos ETA e Global T126 do CPTEC, que utilizam o Risco de Fogo como base de cálculo futuro (Sismanoglu e Setzer, 2004). Ainda de acordo com a **Tabela 1**, e considerando os 4 meses, mais de 91 % dos 217.000 focos ocorreram nesta faixa de risco extremo com a Versão 3. Percebe-se a melhora na capacidade do modelo em reproduzir corretamente estes riscos devido à estiagem extremamente prolongada e estável em vastas regiões da América do Sul central, e em especial nas regiões Central e Nordeste do País.

Quantitativamente, ao considerar no cálculo do risco o uso de focos, na média, cerca de 99 % dos quase 217.000 focos detectados pelo NOAA-12 nas passagens das ~19 às ~21UTC ocorreram em vegetação com níveis de riscos Médio a Crítico considerando as Versões 2 e 3. Deve-se notar

também o bom desempenho do modelo do risco na Versão 1 que não considera a presença de focos e que depende basicamente dos parâmetros ambientais.

Considerando apenas a classe de risco Alta, nota-se que 97% dos focos ocorreram nesta faixa para o período de julho a outubro, aumentando 1 pontos percentual em relação à Versão 2, ou seja ~1.500 focos a mais foram diagnosticadas nesta faixa de risco ao longo dos quatro meses.

b) Conclusões.

A avaliação com os dados prévios de 2004 para a porcentagem de ocorrências de focos em áreas de risco de fogo com classes Crítica, Alta e Crítica, e também Média, Alta e Crítica, para as queimas detectadas pelo satélite NOAA-12 entre ~19 e ~21UTC, apresentou resultados satisfatórios, com índices de acertos superiores a 97% no períodos de maior ocorrência de focos (junho a outubro), considerando as duas últimas versões de cálculo.

Com relação ao novo método, que introduz nos algoritmos o histórico de precipitação mais detalhado, além da presença de focos em regiões com risco hipotético baixo, os índices atingiram 99% de acertos dos focos nas classes Média a Crítica, especialmente nos períodos de concentração de queimas. Na versão anterior, no período de maiores incidências de focos, e especialmente no Brasil Central e no Nordeste, os índices de acertos variaram entre 97 % e 99%.

O maior detalhamento do histórico da precipitação no cálculo do risco não contribuiu significativamente na melhoria dos índices de acertos; apenas na faixa máxima do risco os acertos aumentaram de 93% para 95% no mês de setembro, que totalizou mais de 95.000 focos de queimas na parte da América do Sul abrangida pelas imagens NOAA recebidas no INPE.

Estes novos resultados também implicam em melhorias no cálculo do risco de fogo diário previsto para até 3 dias com base nos modelos ETA e GLOBAL do INPE (Sismanoglu e Setzer, 2004), devendo também beneficiar o desempenho de outros produtos operacionais como os modelos de dispersão de poluentes RAMS usados para quantificar as emissões de queimadas e estimar as trajetórias das emissões (Freitas et al, 2004).

Considerando o período mais crítico do ano de 2004, as classes de risco mais elevadas e, portanto as mais relevantes para as queimadas e incêndios florestais, apresentaram desempenho muito satisfatórios, abrangendo cerca de 99% dos focos detectados.

Melhoria adicional no cálculo de risco, caso seja possível, talvez seja obtida com o uso informações atualizadas da cobertura vegetal uma ou mais vezes por ano, e extraídas de produtos de satélites.

c) exemplos mais recentes ver em: http://www.cptec.inpe.br/queimadas/risco_eta.html

Referências.

- Almeida, E. S., Melo, F. O, 2000. Metview 2.0 - Um desktop meteorológico para tratamento e visualização de dados meteorológicos. In: Congr. Brasil. de Meteorologia, 10, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais**, RJ: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2000, pp.3256-3262.
- Doty, B.E., 1985. Using the grid analysis and Display System - Grads. Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA), College Park, MD, University of Maryland.
- Ferreira, S.H.S. et al., 2000. Banco de Dados Meteorológicos para o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. In: Congr. Brasileiro de Meteorologia, 10, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais**. RJ: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2000, p.3118-3125.
- Freitas, S.R., Longo, K.M., Silva Dias, M.A F., et al. Monitoring the Transport of Biomass Burnig Emissions in South America, 5, RAMS Users Workshop Special Issue, 2004. In press
- Inpe. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento de queimadas. Disponível em <<http://www.cptec.inpe.br/queimadas>> Acesso em 21.Novembro.2004.

- Setzer et al., 1992. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. *Climanálise*, 7 (8): 40-53, agosto/1992.
- SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A.W. Previsibilidade do risco de fogo semanal aplicando o modelo ETA em até quatro semanas com atualização de dados observacionais na América do Sul. XIII Congr.Bras.Meteorologia, SBMET, Fortaleza, CE, 29/Ago-03/Set/2004. CD-ROM. http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_640.pdf
- SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A.W. Análise mensal do risco de queimadas para a América do Sul: Resultados preliminares para 2003. XIII Congr. Bras.Meteorologia, SBMET, Fortaleza, CE, 29/Ago03/Set/2004. CD-ROM. http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_637.pdf
- SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A.W. (b) Avaliação da previsão do risco de fogo desenvolvido no INPE aplicando o modelo ETA: Análise objetiva e comparativa entre duas versões para 2003. XIII Congr.Bras.Meteorol., SBMET, Fortaleza, CE, 29/Ago-03/Set/2004. CD-ROM. http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_638.pdf
- SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A.W. (c) Avaliação regional dos prognósticos do risco de fogo semanal do CPTEC aplicando o modelo “ETA” e dados observacionais na América do Sul. XIII. Congr.Bras.Meteorologia, SBMET, Fortaleza, CE, 29/Ago-03/Set/2004. CD-ROM. http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_639.pdf
- SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A.W. (d) Risco de fogo para a vegetação da América do Sul: comparação de duas versões para 2003. XIII Congr.Bras.Meteorologia, SBMET, Fortaleza, CE, 29/Ago03/Set/2004. CD-ROM. http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_636.pdf