

Risco de Fogo: Metodologia do Cálculo – Descrição sucinta da Versão 9

Alberto W. Setzer e Raffi A Sismanoglu
INPE (Outubro/2012)
asetzer@cptec.inpe.br; raffi@cptec.inpe.br

Conceito do Risco de Fogo

O princípio deste [Risco de Fogo \(RF\)](#) é o de que quanto mais dias seguidos sem chuva, maior o risco de queima da vegetação; adicionalmente, são incluídos no cálculo efeitos do tipo e do ciclo natural de desfolhamento da vegetação, temperatura máxima e umidade relativa mínima do ar diárias, assim como a presença de fogo na área de interesse. O RF foi desenvolvido internamente no CPTEC/INPE, com base na análise da ocorrência de centenas de milhares de queimadas/incêndios nos principais biomas (tipos de vegetação) do País durante a última década, em função das condições e históricos meteorológicos na região de cada evento (Setzer et al., 1992, Sismanoglu e Setzer, 2004d); este RF é parte do [Sistema de Queimadas e Incêndios Florestais do INPE](#).

A base dos cálculos está nos “Dias de Secura”, ou “Secura”, PSE, que é o número de dias seguidos sem nenhuma precipitação durante os últimos 120 dias em relação à data de cálculo. No caso de ocorrência de precipitação no período analisado, o PSE calcula um número hipotético de dias consecutivos sem chuva.

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, por 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 estando o subsolo encharcado, a matéria orgânica estará pronta para a queima se houver forte insolação e a temperatura do ar for alta; no Pantanal, incêndios ocorrem mesmo em áreas com lençol de água sobre a superfície, mas cuja vegetação está seca.

O “RF Observado” resulta de dados reais observados em estações de superfície ou inferidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto, enquanto que os “RF Previstos” para alguns dias (Sismanoglu e Setzer, 2004b) e os “RF Futuros” para algumas semanas (Sismanoglu e Setzer, 2004a,2004e), são calculados a partir das previsões com modelos numéricos de tempo (ETA 15 km, BRAMS 17 km (Freitas et al., 2004) e T213 60 km) para precipitação, temperatura máxima e umidade relativa mínima do ar, e usando como condição de inicial o RF Observado.

Fontes de Dados.

O **campo de precipitação** diário, que é a componente de maior peso do RF, é obtido na resolução de 25 km a partir das estimativas de precipitação do “CoSch/Merge” geradas pela DSA/CPTEC, as quais combinam dados observacionais das estações de superfície com as medidas em micro-ondas dos satélites TRMM (Vila et al., 2008). As estimativas CoSch/Merge são particularmente indicadas nas áreas com baixa densidade de estações de superfície, como p.ex. na Amazônia. Exemplo desse campo sobre a América do Sul pode ser observado na Figura 1.

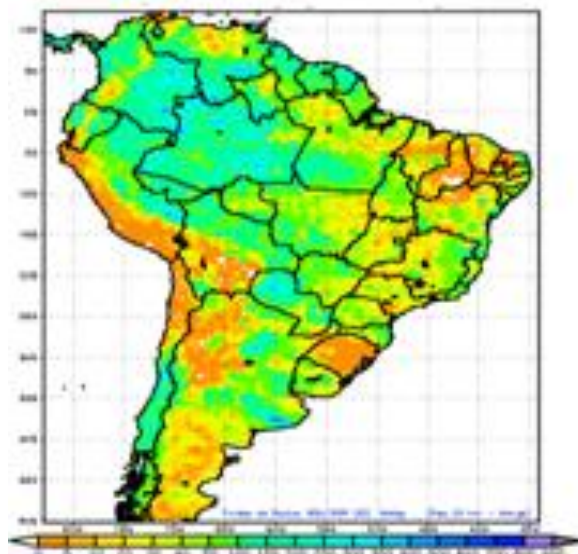


Figura 1 – Componente do Risco de Fogo Observado, para 2012/05/28 - Campo da Precipitação acumulada para 15 dias, CoScsh/merge. Estes campos são calculados diariamente para períodos de 01 a 120 dias anteriores em relação ao dia do cálculo.

Os campos de **temperatura máxima e de umidade mínima do ar** das 18h UTC à superfície são extraídos das análises feitas no CPTEC pelo modelo MCGA CPTEC/COLA – T213 de 60 km, para toda a América do Sul (Cavalcanti et al., 1995). Estas análises, por sua vez, resultam da interpolação dos dados das estações meteorológicas de superfície (Almeida et al., 2005, Ferreira et al., 2000). Exemplos desses campos sobre a América do Sul podem ser observados nas Figuras 2 e 3.

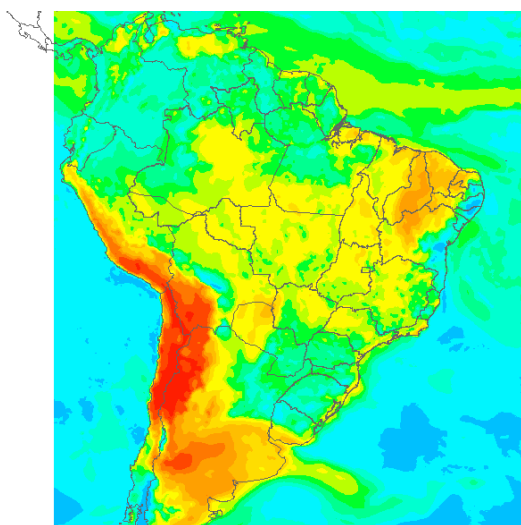


Figura 2 – Componente do Risco de Fogo Observado, para 2012/05/28 - Campo da Umidade Relativa Mínima do ar, extraído nas Análises do Modelo Cptec Global T213.

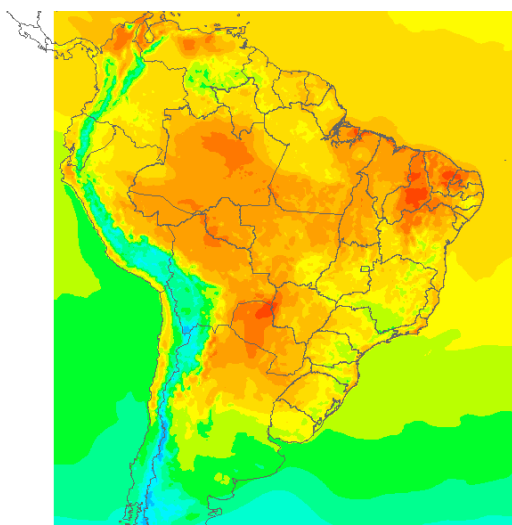


Figura 3 – Componente do Risco de Fogo Observado, para 2012/05/28 - Campo da Temperatura Máxima do ar, extraído nas Análises do Modelo Cptec Global T213.

O **mapa de tipos de vegetação** foi adaptado do produto anual do IGBP NASA (IGBP), por sua vez gerado pela NASA a partir dos mosaicos MODIS MCD12Q1 do satélite AQUA (Friedl et al.2010), para os cálculos do RF. As 17 classes originais de vegetação adotadas pelo IGBP foram condensadas em sete principais: Ombrofila Densa + Terras Alagadas; Florestas Deciduais e Sazonais; Floresta de Contato + Campinarana; Savana Arbórea + Caatinga; Savana Arbórea Aberta; Agricultura e Diversos, e; Pastagens e

Gramíneas. A nomenclatura usada foi a do IBGE (http://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/vegetacao.pdf). O mapa é substituído sempre que o IGBP divulga uma nova versão.

As previsões do RF para até cinco dias são geradas a partir das saídas do modelo regional ETA de 15 km de resolução. Além desse, os modelos BRAMS, com duas grades específicas (região sudeste com 17 km, e América do Sul com 60 km), e o ETA com cinco km apenas na região da Serra da Mantiqueira, SP, também são utilizados para fins de pesquisa e em aplicações específicas de usuários.

As previsões semanais para um mês, e as mensais estendidas para até três meses, todas com resolução 40 km, são geradas com o ETA de cinco membros. Algumas versões anteriores do RF são mantidas em operação para fins de aprimoramento e pesquisa aplicada.

Sequencia do Cálculo do Risco de Fogo

O Risco de Fogo Observado é calculado com dados meteorológicos observados nas estações, mas já interpolados para toda grade de trabalho, e também combinado com a ocorrência de focos de queima detectados pelos satélites do sistema de monitoramento do INPE. A partir deste risco, são determinados os demais riscos, para datas e períodos futuros (Sismanoglu e Setzer, 2004a, 2004b, 2004e). Desde maio/2007 passou a ser gerado também o gráfico “fogograma”, com a previsão numérica do Risco para cinco dias em 186 localidades, juntamente com a de outras variáveis meteorológicas. A partir de junho de 2009 foi implementada a versão internet clicável do fogograma, utilizando o modelo Eta 15km para a América do Sul e o MCG T213 para Cuba, com previsões de até 5 dias.

A sequência de cálculos do RF, criada e aprimorada por Setzer (INPE, 2004) desde 1998 está resumida a seguir.

- 1) Determinar diariamente para a área geográfica de abrangência, o valor da precipitação em mm acumulada para onze intervalos de dias 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, utilizando dados CoSch-Merge.
- 2) Calcular os “Fatores de Precipitação” (fp) com valores de 0 a 1, para cada um dos onze períodos, por meio de uma função exponencial empírica da precipitação, específica para cada um deles. Estes fatores têm dois propósitos: reduzir o RF para volumes maiores de chuva em eventos específicos, e diminuir o efeito da precipitação à medida que o evento fica mais distante no passado. As equações são respectivamente:

$$\begin{aligned} fp1 &= e^{-0.14*prec}; & fp2 &= e^{-0.07*prec}; & fp3 &= e^{-0.04*prec}; & fp4 &= e^{-0.03*prec}; \\ fp5 &= e^{-0.02*prec}; & fp6a10 &= e^{-0.01*prec}; & fp11a15 &= e^{-0.008*prec}; \\ fp16a30 &= e^{-0.004*prec}; & fp31a60 &= e^{-0.002*prec}; & fp61a90 &= e^{-0.001*prec}; \\ fp91a120 &= e^{-0.0007*prec}. \end{aligned}$$

- 3) Calcular os “Dias de Secura”, (PSE), pela multiplicação dos fp conforme a equação:

$$PSE = 105 * fp1 * fp2 * fp3 * fp4 * fp5 * fp6a10 * fp11a15 * fp16a30 * fp31a60 * fp61a90 * fp91a120$$

Neste cálculo, 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 efeito temporal do regime de precipitação.

O valor obtido corresponde a um número hipotético de dias seguidos sem chuva para caracterizar o estado da vegetação.

- 4) Determinar o risco de fogo "básico" para cada um dos sete tipos de vegetação considerada, por meio da equação:

$$Rb_{n=1,7} = \frac{0.9 * [1 + \sin(A_{n=1,7} * PSE)]}{2},$$

em que o parâmetro A varia com a vegetação de acordo com a Tabela 1:

Vegetação	Ombrófila densa; alagados.	Florestas Decíduas e sazonais	Florestas Contato; Campinarana	Savana arbórea; Caatinga fechada.	Savana; Caatinga aberta.	Agricultura e diversos	Pastagens Gramíneas
A	1.5	1.72	2	2.4	3	4	6

Tabela 1 - Valores assumidos pela constante A para as 7 classes de vegetação para o RF, na versão V9 de 2012.

A Figura 4 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 secura", que correspondem a um período hipotético sem chuva calculado a partir da quantidade e distribuição temporal das chuvas ocorridas. Para um mesmo número de dias sem chuva, uma pastagem terá o Risco de Fogo maior que o de uma floresta. A noção de "dias sem chuva" ou "dias de secura" é o princípio básico deste método.

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 tende a seguir o mesmo ritmo.

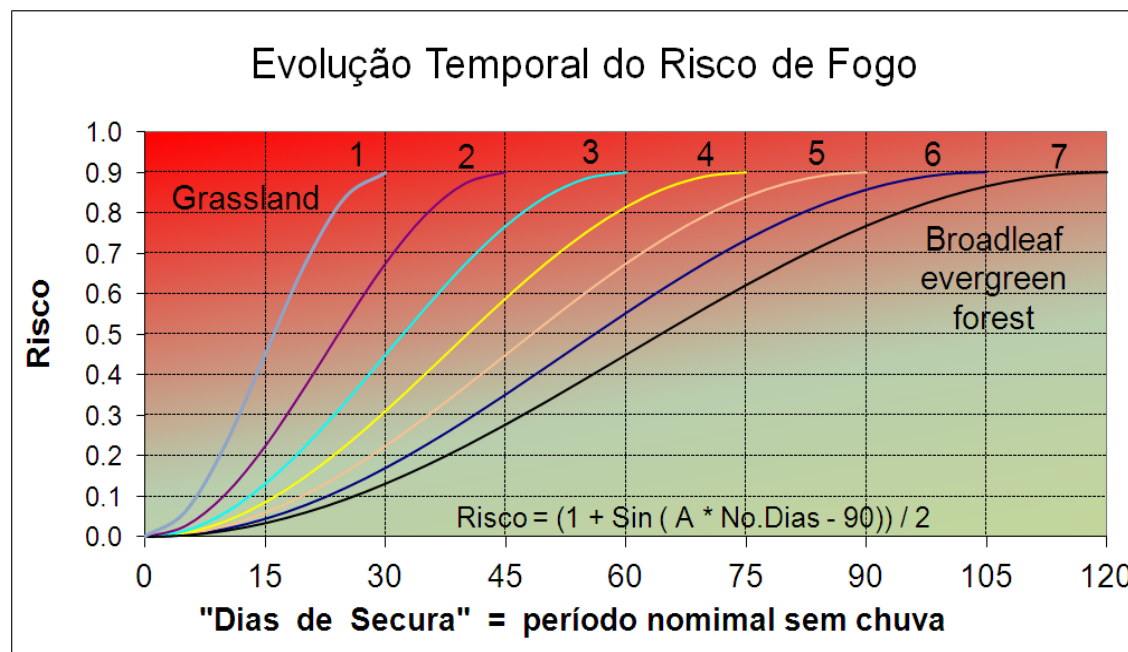


Figura 4 – Variação senoidal do Risco Básico em função do período de secura PSE para sete tipos de vegetação. Neste caso, sem precipitação, todos os fatores de precipitação para os onze períodos têm valor 1,0. Notar o valor máximo do Risco, 0,9.

- 5) Ajustar o Risco de Fogo para a umidade relativa mínima do ar no dia do cálculo, pois neste método o risco aumenta inversamente com a umidade (UR). Abaixo de 40% o risco aumenta, e diminui para valores acima desta referência. Usam-se os dados de umidade das observações das 18h UTC, assumidos como sendo do mínimo diário da UR . A Figura 2 mostra um exemplo do campo de UR usado no ajuste do risco. A equação de ajuste linear é:

$$\text{Fator Umidade} = FU = UR * -0.006 + 1.3$$

6) Ajustar o risco de fogo para a temperatura máxima do ar no dia do cálculo, que neste método tem um efeito linear no risco. O risco aumenta para temperaturas (T_{max}) acima de 30°C e diminui para valores abaixo desta referência. Usam-se os dados de temperatura das observações das 18h UTC, considerando que seja seu máximo diário. Na Figura 3 mostra-se um caso do campo de T_{max} usado no ajuste do risco. A equação de ajuste linear é:

$$\text{Fator Temperatura} = FT = T_{max} * 0.02 + 0.4$$

7) Gerar o Risco Observado, multiplicando-se o Risco de Fogo básico pelos fatores da Umidade Relativa Mínima e da Temperatura do Ar Máxima:

$$RF = Rb * FT * FU,$$

atribuindo as seguintes categorias para os níveis do risco de Fogo:

RISCO	Valores RF
Mínimo	> 0.15
Baixo	> 0.15 < 0.40
Médio	> 0.40 < 0.70
Alto	> 0.70 < 0.95
Critico	> 0.95

8) Finalmente, quando verifica-se que em locais com RF Mínimo ou Baixo ocorreu algum foco de queima detectado pelos satélites nos últimos 3 dias, e neste período não houve precipitação, altera-se o valor do RF para Alto. Por exemplo, uma célula do RF de que originalmente valeria entre 0 e 0.4, passa a valer 0.95. A título de exemplo observa-se na Figura 5 o campo do RF sobre a America do Sul, classificada em 5 níveis de acordo com a tabela acima.

Alguns exemplos do RF e Avaliação do Desempenho

Avaliações diárias do desempenho da atual versão 9 de cálculo do Risco de Fogo podem ser acompanhadas em http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/figuras/evokri_V5_2006.gif.

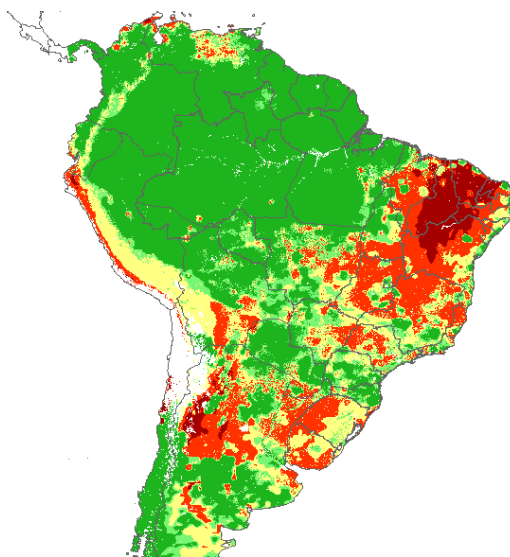


Figura 5 – Risco de Fogo Observado, para 2012/05/28 e classificado em 5 categorias que variam de *mínimo* (verde = 0) a *crítico* (marron = 1).

Referências.

- Almeida, W. G. et al.; IDD-BRASIL: DISTRIBUIÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 29, p. 33-38, 2005.
- Cavalcanti, I. F. A.; P. Nobre; M. L. Abreu; M.Quadro and L. P. Pezzi, 1995. Vertical and horizontal resolution comparisons of CPTEC/COLA GCM. Proceedings of the twentieth annual climate diagnostics workshop., Seattle, Washington, Oct. 23-27, 1995. pp 73-76.
- 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 Burning Emissions in South America, 5, RAMS Users Workshop Special Issue, 2004.
- Friedl, M.A, Sulla-Menashe, D, Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., Huang, X. (2010). MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. Remote Sensing of Environment, 114, 168-182.
- IGBP. Disponível em: http://www-surf.larc.nasa.gov/surf/pages/IGBP_list.html . Acesso em 10.10.2012.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento de queimadas. Disponível em <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/gmanova/> Acesso em 21.05.2012.
- 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. (e) 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, Set/2004c. CD-ROM.
http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_640.pdf
- Sismanoglu, R.A.; Setzer, A.W. (c) Análise mensal do risco de queimadas para a América do Sul: Resultados preliminares para 2003. XIII Congr. Bras.Meteorologia, SBMET, Fortaleza, CE, Set/2004c. CD-ROM.
http://sigma.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, Set/2004b. CD-ROM.
http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_638.pdf
- Sismanoglu, R.A.; Setzer, A.W. (a) 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, Set/2004c. CD-ROM.
http://sigma.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. Set/2004. CD-ROM.
http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_636.pdf
- Vila D., L.G. de Goncalves, D. Toll and J. Rozante, 2008, Statistical Evaluation of Combined Daily Gauge Observations and Rainfall Satellite Estimations over Continental South America, *J. Hidrometeor.* Vol. 10, No. 2, 533–543.

Nota: este documento substitui as seguintes versões anteriores: