

# Avaliação regional do modelo de alta resolução do risco de fogo da vegetação desenvolvido pelo INPE



Raffi Agop Sismanoglu, Alberto Waingort Setzer – INPE  
queimadas@inpe.br

## 1. INTRODUÇÃO

O princípio do **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). O 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.

### Fontes de Dados e sequencia de calculo do RF

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 especialmente importantes nas áreas com baixa densidade de estações de superfície, como p.ex. na Amazônia. (Figura 1)

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 – T299 de 45km, 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). (Figuras 2 e 3)

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: Ombrófila 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 (ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas\_tematicos/mapas\_murais/vegetacao.pdf). O mapa é substituído sempre que o IGBP divulga uma nova versão.

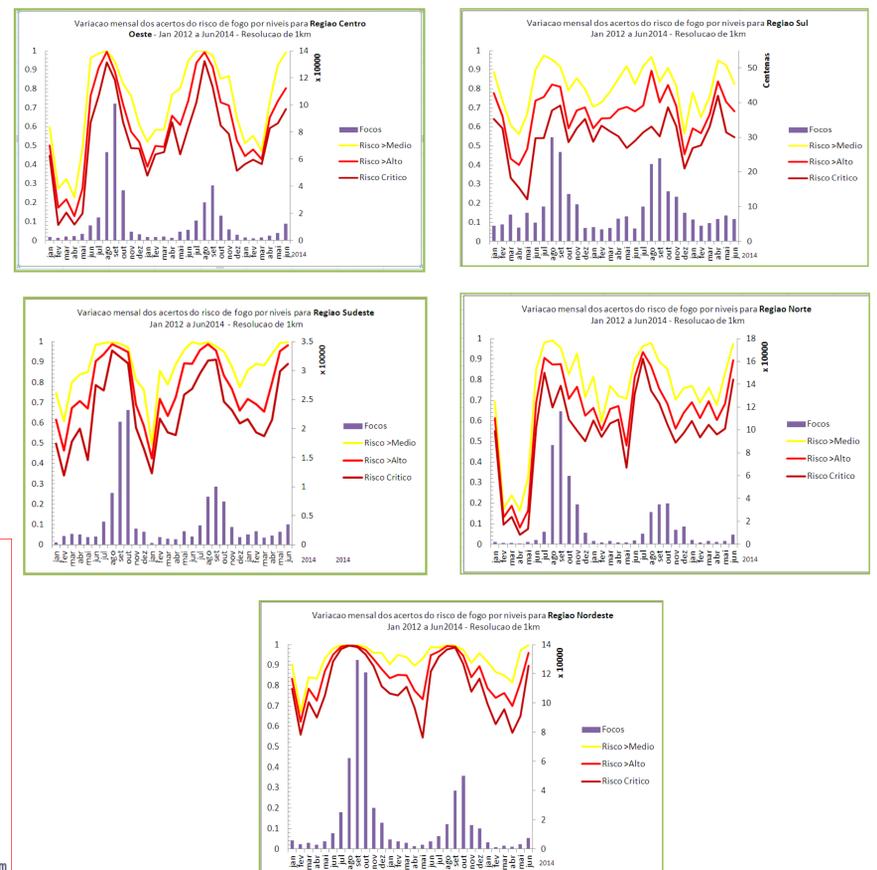
**Observação:** Os dados de **Focos** detectados por todos os satélites dos 3 dias anteriores são incluídos indiretamente no cálculo do RF, dependendo da persistência dessas ocorrências com o RF calculado sem focos, agindo como uma memória para corrigir falsos alarmes (ocasionais) de risco baixo. Atribui-se nestes casos o risco máximo.

## 2. METODOLOGIA

Foram estudados os riscos diários de 2012 e 2014 correspondendo a versão atual com 1 km de grade, com as respectivas ocorrências dos focos com os 22 diferentes satélites disponíveis. Para isso foram avaliadas as detecções reais de focos com o nível de risco estimado, ou sejam, as porcentagens do total de focos por níveis de risco médio, alto e crítico. O resultados estão apresentados em formato de gráficos para cada Região.

## 3. RESULTADOS

Para todo o país, o desempenho regional do RF foi muito satisfatório especialmente nos períodos de maior ocorrência e considerando a maior resolução da grade em comparação com as versões anteriores. **Centro-Oeste:** nos períodos das máximas ocorrências (junho a outubro) o desempenho variou entre 80 e 99.5% de acertos em áreas de risco maior do que médio, correspondendo a 95 % de acertos no nível crítico e 4.5% nos níveis alto e médio no mês de agosto de 2012 e 2013. Nos meses seguintes, no início do período chuvoso no MT, o desempenho no RF médio oscilou entre 75% e 30% em função das poucas ocorrências. **Região Sul:** possui uma dinâmica diferente do uso do fogo e o desempenho do RF ao longo do ano foi razoável e similar nos meses. Apesar das poucas ocorrências registradas na Região em relação as demais áreas do país, no ápice das queimas o nível de acertos em áreas de risco crítico variou entre 65% e 70%; entre 10% e 15% no nível alto e entre 10% a 15% no nível médio. O desempenho do RF nos demais períodos de mínimas ocorrências foi pouco alterado oscilando entre 40% e 60% para o nível crítico. **Região Sudeste:** no período de janeiro a junho o nível crítico do RF oscilou entre 50% a 70% de acertos dos focos; entre 60% a 75% nos níveis médios e entre 80% a 95% nos meses de maiores ocorrências para o nível crítico. **Região Nordeste:** obteve o melhor desempenho em todo o país. No período das máximas ocorrências o nível crítico de acertos variou entre 90% e 99.6% e entre 55% a 79% nos períodos das mínimas. No ano, o nível crítico correspondeu a 80% das ocorrências; a 13% do nível médio e 7% do nível mínimo. A **Região Norte** apresentou o pior desempenho do RF considerando o numero elevado de focos de calor. Nos meses das máximas ocorrências, o nível crítico do RF correspondeu entre 60% a 83% das ocorrências do período. Nos meses de poucas ocorrências, o nível crítico variou entre 5% a 60% das ocorrências destacando-se o fraco desempenho nos meses do ano de 2012, influenciado em parte pela baixa densidade de dados de precipitação, temperatura e umidade do ar na região. Nos anos seguintes nas baixas temporadas de focos, o desempenho foi melhor, variado entre 37 % a 60% de acertos no nível crítico.



A sequencia de cálculos do RF, criada e aprimorada por Setzer (INPE 2014) desde 1998 está resumida a seguir.

- 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.
- 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:
 
$$fp1 = e^{-0.14 \cdot p_{prec}}; fp2 = e^{-0.07 \cdot p_{prec}}; fp3 = e^{-0.04 \cdot p_{prec}}; fp4 = e^{-0.03 \cdot p_{prec}};$$

$$fp5 = e^{-0.02 \cdot p_{prec}}; fp6a10 = e^{-0.01 \cdot p_{prec}}; fp11a15 = e^{-0.009 \cdot p_{prec}};$$

$$fp16a30 = e^{-0.008 \cdot p_{prec}}; fp31a60 = e^{-0.007 \cdot p_{prec}}; fp61a90 = e^{-0.001 \cdot p_{prec}};$$

$$fp91a120 = e^{-0.0007 \cdot p_{prec}}$$
- Calcular os "Dias de Secura", (PSE), pela multiplicação dos fp conforme a equação:
 
$$PSE = 105 \cdot fp1 \cdot fp2 \cdot fp3 \cdot fp4 \cdot fp5 \cdot fp6a10 \cdot fp11a15 \cdot fp16a30 \cdot fp31a60 \cdot fp61a90 \cdot fp91a120$$

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:

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

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

Vegetação	Ombrófila densa / alagados	Florestas Deciduais e Sazonais / Campinarana	Florestas de Contato	Savanas arbóreas / Caatinga / fechada	Savanas arbóreas / abertas	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.

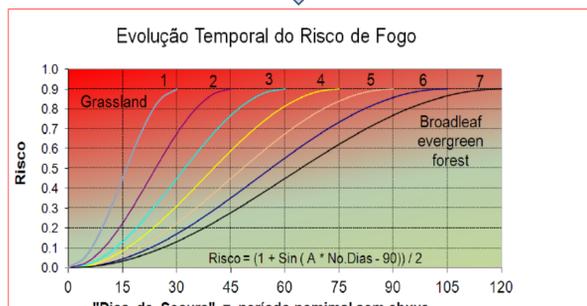


Figura 4 – Variação senoidal do Risco Básico em função do período de secura PSE para sete tipos de vegetação. Neste caso, sem precipitação, todos os fatores de precipitação para os onze períodos têm valor 1.0. Notar o valor máximo do Risco, 0,9.

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, assumindo 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:

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

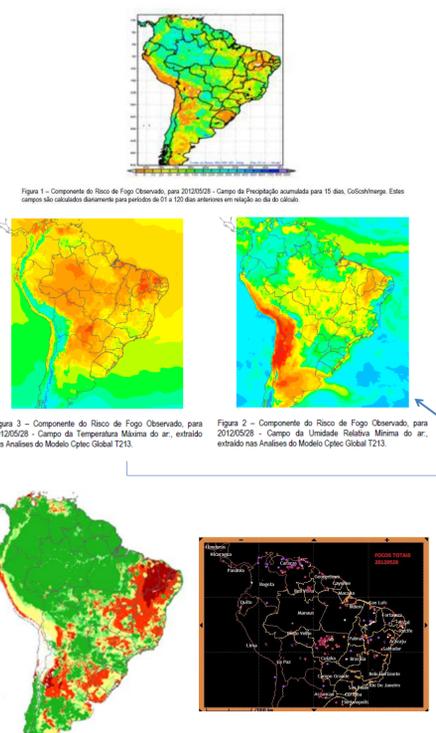
6) Ajustar o risco de fogo para a temperatura máxima do ar no dia do cálculo, neste método tem um efeito linear no risco. O risco aumenta para temperaturas (Tmax) acima de 30°C e diminui para valores abaixo desta referência. Usam-se os dados de temperatura das observações das 18h UTC, considerando que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

$$\text{Fator Temperatura} = FT = Tmax + 0.02 + 0.4$$

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

$$RF = Rb \cdot FT \cdot FU$$

Ler nota **observação** no texto



## 4 – 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.

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.

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](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://www.inpe.br/queimadas> Acesso em 21.09.2014.

Setzer et al., 1992. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. Climatologia, 7 (8): 40-53, agosto/1992.

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.

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. Hydrometeor. Vol. 10, No. 2, 533-543.

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