



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

[sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/11.21.11.03-PRP](http://sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/11.21.11.03-PRP)

## **MÉTODO DO CÁLCULO DO RISCO DE FOGO DO PROGRAMA DO INPE - VERSÃO 11, JUNHO/2019**

Alberto Waingort Setzer  
Raffi Agop Sismanoglu  
José Guilherme Martins dos Santos

URL do documento original:  
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3UEDKUB>

INPE  
São José dos Campos  
2019

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Gabinete do Diretor (GBDIR)  
Serviço de Informação e Documentação (SESID)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE - CEPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

**Membros:**

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

[sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/11.21.11.03-PRP](http://sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/11.21.11.03-PRP)

## **MÉTODO DO CÁLCULO DO RISCO DE FOGO DO PROGRAMA DO INPE - VERSÃO 11, JUNHO/2019**

Alberto Waingort Setzer  
Raffi Agop Sismanoglu  
José Guilherme Martins dos Santos

URL do documento original:  
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3UEDKUB>

INPE  
São José dos Campos  
2019



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho conta com recursos das seguintes fontes, às quais os autores agradecem: Governo Federal, Ação Orçamentária 20V9-2 do PPA – Plano Plurianual 2016-19, Programa 2050, Objetivo 1069, Meta 047R; BNDES-Fundo Amazônia, Projeto Monitoramento Ambiental por Satélites no Bioma Amazônia, Subprojeto 4-Queimadas; Projeto FAPESP 2015/01389-4, “BRFLAS”, e Projeto Banco Mundial-MCTIC/Fundep P143185/TF0A1787, “Development of Systems to prevent Forest fires and monitor vegetation cover in the Brazilian Cerrado Project”, “FIP Monitoramento Cerrado”, Componente 2 - Sistemas de informação sobre risco de incêndios.

## **RESUMO**

Este documento descreve o método de cálculo dos produtos de Risco de Fogo (RF) para queima da vegetação gerados no Programa Queimadas do INPE. O princípio meteorológico para estimar o RF é o de que quanto mais dias seguidos sem chuva em um local, maior o risco de queima da sua vegetação. Adicionalmente, são considerados efeitos locais do tipo da vegetação, da temperatura máxima e umidade relativa mínima do ar diárias, da elevação topográfica e latitude, assim como a presença de fogo na área. Calcula-se o número de dias sem chuva anteriormente ao dia de interesse, até o limite de 120 dias; no caso da ocorrência de precipitação no período, são atribuídos pesos em função da quantidade de chuva e do intervalo até a data do cálculo. Chega-se assim ao número hipotético de dias consecutivos sem chuva, ou “Dias de Secura”. Temperatura máxima acima de 30 °C e Umidade Relativa mínima abaixo de 40% para o ar aumentam linearmente o RF no dia de interesse; abaixo e acima destes limites, respectivamente, diminuem o RF. A presença de focos de queima detectados por satélites e a elevação topográfica e a latitude locais também aumentam o risco diretamente. São cinco as categorias do RF na escala de 0 a 1: Mínimo, abaixo de 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. As previsões diárias de RF para até cinco dias, e de uma a quatro semanas seguem os mesmos princípios do RF observado, porém utilizando dados de previsões numéricas de tempo. Os mapas de RF gerados e os “Fogogramas” são apresentados no Portal Queimadas do INPE e enviados em relatórios individuais aos usuários cadastrados. Análises de acerto do RF para as cinco regiões do País são feitas automaticamente com focos de queima detectados por satélites, e os índices de acerto para as classes Média, Alta e Crítica combinadas é superior a 95%. Este documento substitui a versão 20130910\_RF\_V9.docx, assim como as anteriores.

Palavras-chave: Risco de Fogo. Queimadas. Incêndios Florestais. Vegetação.

## **ABSTRACT**

This document describes the method used to calculate the vegetation Fire Risk (FR) products at INPE's Wildfire Monitoring Program. The meteorological principle used is that the higher the number of consecutive days without rain at a place, the higher the risk for burning its vegetation. Additionally considered are local effects of the vegetation type, maximum daily air temperature and minimum relative humidity, topographic elevation and latitude, and also the occurrence of fire in the area. The number of days without rain prior to the day of interest is calculated, up to the limit of 120 days; when rain occurs in the period the amount of precipitation and the interval to the day of the estimate are weighted in the estimates and a hypothetical number of consecutive dry days is obtained. Maximum air temperature above 30°C and minimum Relative Humidity below 40% increase in a linear mode the FR for the day of interest; below and above those thresholds, respectively, FR is reduced. The local detection of active fires in satellite images, the topographical elevation and the latitude also increase the FR directly. The categories of FR are five in the scale of 0 to 1: Minimum, below 0.15; Low, from 0.15 to 0.4; Average, from 0.4 to 0.7; High, from 0.7 to 0.95 and; Critic, above 0.95. The daily FR forecasts up to five days and from one to four weeks follow the same principles of the observed FR, and are calculated data from numerical weather forecasts. The FR maps and the "Firegrams" produced are presented at INPE's Wildfire Monitoring Program Portal and also automatically sent on and individual basis to registered users. Skill analysis of the FR for the five regions of Brazil are automatic using active fires detected by satellite monitoring, and the performance is above 95% for the FR classes of Average, High and Critical. This document replaces the previous 20130910\_RF\_V9 and all other issued before.

Keywords: Fire Risk. Fire Danger. Wildfires. Forest Fires. Vegetation.

## **LISTA DE FIGURAS**

**Pág.**

Figura 2.1: a) Precipitação acumulada para 120 dias (19/maio a 15/setembro/2017) obtida do IMERG. Estes campos são produzidos diariamente para períodos de 1 a 120 dias anteriores ao dia do cálculo; (b) Temperatura do Ar à superfície às 18UTC, e; (c) Umidade Relativa do Ar à superfície às 18UTC.....	14
Figura 2.2 - Mapa de vegetação IGBP das Américas em 2016 combinado com o MapBiomass do Brasil em 2017, utilizados no cálculo do Risco de Fogo observado. ....	16
Figura 3.1 - Variação senoidal do Risco Básico em função do período de segura PSE para sete tipos de vegetação durante 120 dias. Notar o valor máximo do Risco igual a 0,8.....	21
Figura 3.2 - Risco de Fogo Observado para o dia 15/Set/2017 e classificado em 5 categorias que variam de mínimo (verde = 0) a crítico (marrom = 1).....	24

## **LISTA DE TABELAS**

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Classes de Vegetação, Classes principais e valores da constante de flamabilidade “A”.....	15
Tabela 3.4 – Valores assumidos pela constante “A” para as 7 classes de vegetação do Risco de Fogo.....	20
Tabela 3.5 - Categorias de Risco de Fogo.....	23

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
GPM	Global Precipitation Measurement
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGBP	International Geosphere-Biosphere Programme
IMERG	Integrated Multi-satellitE Retrievals
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PSE	Número de dias de secura
RF	Risco de Fogo
UR	Umidade Relativa
UTC	Universal Time Coordinated
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. CONCEITO DO RISCO DE FOGO .....	11
2. FONTES DE DADOS.....	12
3. SEQUÊNCIA DE CÁLCULO DO RISCO DE FOGO.....	16
Precipitação acumulada .....	17
Fatores de precipitação.....	18
Dias de Secura (PSE) .....	19
Risco de Fogo Básico .....	20
Fator de Umidade Relativa do ar.....	21
Fator de Temperatura do Ar .....	21
Risco de Fogo Observado.....	22
Correção do Risco de Fogo para a detecção de focos de queima.....	23
Exemplos do risco de fogo e avaliação de desempenho .....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28

## **1. CONCEITO DO RISCO DE FOGO**

O princípio da estimativa meteorológica do Risco de Fogo (RF) para queima da vegetação é o de que quanto mais dias seguidos sem chuva em um local, maior seu risco de queima. Adicionalmente, são considerados no cálculo os efeitos locais do tipo da vegetação e do ciclo natural de seu desfolhamento, da temperatura máxima e umidade relativa mínima do ar diárias, da elevação topográfica e latitude, assim como a presença de fogo na área de interesse.

O RF foi desenvolvido no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), com base na análise da ocorrência de centenas de milhares de queimadas/incêndios nos principais biomas e tipos de vegetação do País durante as últimas décadas, em função das condições e históricos meteorológicos (SETZER *et al.*, 1992; SISMANOGLU e SETZER, 2004d). Sua primeira versão operacional data de 2002. O cálculo do RF é um dos produtos do Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais do INPE (<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>), por sua vez inserido na Ação 20V9 do MCTIC no atual PPA-Plano Plurianual do Governo Federal (PPA, 2016).

A base dos cálculos do RF está no conceito dos “Dias de Secura”, ou “Secura” (PSE), que corresponde ao número de dias seguidos sem nenhuma precipitação durante os últimos 120 dias em relação à data de interesse. No caso de ocorrência de precipitação no período analisado, o PSE é um número de dias hipotético correspondente ao de dias consecutivos sem chuva. É fundamental levar em conta que o RF indica quão propícia a vegetação está para ser queimada do ponto de vista meteorológico e, que o fogo na grande maioria dos casos é iniciado pelo homem e não naturalmente, como por exemplo, por raios.

Neste contexto, a velocidade do vento não é considerada nos cálculos, pois ela influí principalmente na propagação do fogo e não na sua ignição por

ação humana. Quando a velocidade do vento é alta, em geral a população evita iniciar queimadas por receio de que ocorram danos de maneira imprevisível. Também não se considera a umidade do solo nos cálculos, pois esta é uma variável decorrente do histórico da precipitação e que pode não estar relacionada ao uso do fogo. Por exemplo, uma área que foi desmatada e cuja vegetação secou por alguns meses, poderá ser queimada poucos dias após um período de precipitação intensa, pois mesmo estando o subsolo encharcado, a matéria orgânica na superfície estará pronta para a queima se houver forte insolação e a temperatura do ar for alta. No Pantanal e em manguezais, incêndios ocorrem mesmo em áreas com lençol d'água sobre a superfície, e cuja vegetação exposta está naturalmente seca.

O “RF observado” resulta de dados meteorológicos reais coletados em estações de superfície e inferidos entre elas por meio de técnicas de interpolação. O RF previsto para alguns dias (SISMANOGLU e SETZER, 2004b) e o risco de fogo futuro para algumas semanas (SISMANOGLU e SETZER, 2004a; SISMANOGLU e SETZER, 2004e) são calculados a partir das previsões com resolução espacial de 25 km do modelo numérico *Global Forecast System* (GFS) para precipitação, temperatura máxima e umidade relativa mínima do ar e, usando como condição inicial, o RF observado.

Nota: este documento substitui a versão 20130910\_RF\_V9.docx, assim como as anteriores.

## 2. FONTES DE DADOS

Para o cálculo do Risco de Fogo são necessárias informações diárias das seguintes variáveis: precipitação diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa (%) à superfície. O campo de distribuição geográfica de precipitação, que é a componente de maior peso do RF, é obtido na resolução espacial de 10 km a partir das estimativas de precipitação do IMERG –

*Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM* (HUFFMAN *et al.*, 2014, 2015), as quais combinam dados observacionais das estações de superfície com as medidas em micro-ondas dos atuais satélites do programa *Global Precipitation Measurement* (GPM, HOU *et al.*, 2014). As estimativas IMERG são particularmente indicadas nas áreas com baixa densidade de estações de superfície, como na Amazônia; exemplo desse campo para a América do Sul pode ser observado na Figura 2.1a.

Os campos de distribuição geográfica de temperatura máxima e de umidade mínima do ar no horário das 18UTC à superfície são obtidos das análises do modelo americano *Global Forecast System* (GFS) na resolução espacial de 25 km. Esse modelo é utilizado nos grandes centros de meteorologia para inicializar simulações numéricas, bem como em pesquisas. Exemplos desses campos sobre a América do Sul podem ser observados na Figura 2.1b e c.

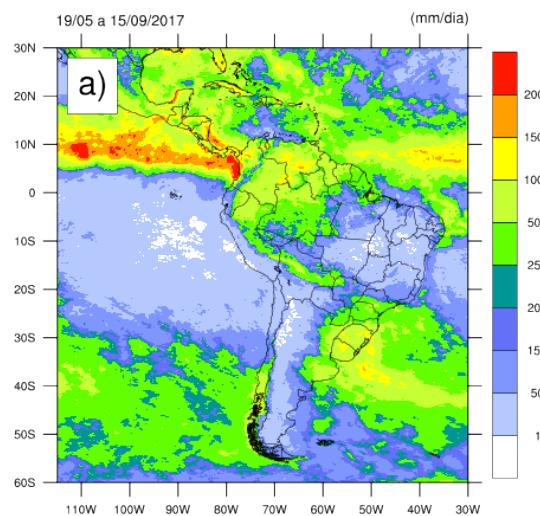
Desde janeiro/2018 o mapa de tipos de vegetação (Figura 2.2) para os cálculos do RF é gerado combinando-se duas fontes de dados. A base para o continente é o produto anual global do *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP, <http://www.igbp.net/>), por sua vez gerado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) a partir dos mosaicos do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), MCD12Q1, com resolução espacial de 1 km, do satélite AQUA (FRIEDL *et al.*, 2010). Para o Brasil, substitui-se o mapa IGBP pelo MapBiomass (<http://www.mapbiomas.org/>) que contém o mapeamento anual da cobertura e uso do solo no Brasil a partir das imagens Landsat de 30 m de resolução. Esses mapas estão disponíveis desde 2001 até 2017, e a geração do RF utiliza os mapas respectivos ao ano para o qual que está sendo gerado o RF- ou os mais próximos existentes, no caso do ano corrente.

As 17 classes originais (Tabela 2.1) de vegetação adotadas pelo IGBP foram condensadas em sete principais: Ombrófila Densa+Terras Alagadas; Florestas Deciduais e Sazonais; Floresta de Contato+Campinarana; Savana

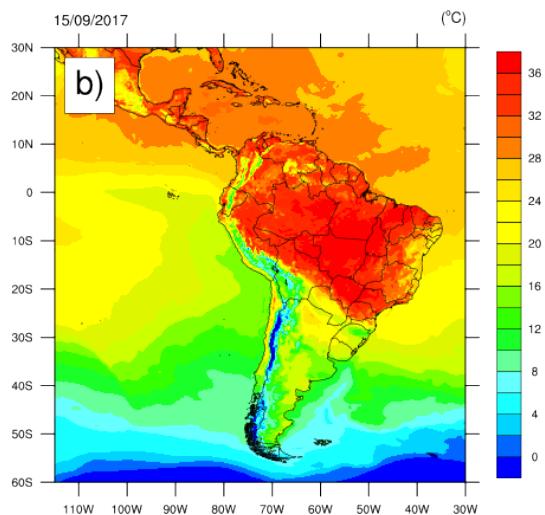
Arbórea+Caatinga; Savana Arbórea Aberta; Agricultura e Diversos, e Pastagens e Gramíneas. A nomenclatura usada foi a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018).

Figura 2.1: a) Precipitação acumulada para 120 dias (19/maio a 15/setembro/2017) obtida do IMERG. Estes campos são produzidos diariamente para períodos de 1 a 120 dias anteriores ao dia do cálculo; (b) Temperatura do Ar à superfície às 18UTC, e; (c) Umidade Relativa do Ar à superfície às 18UTC.

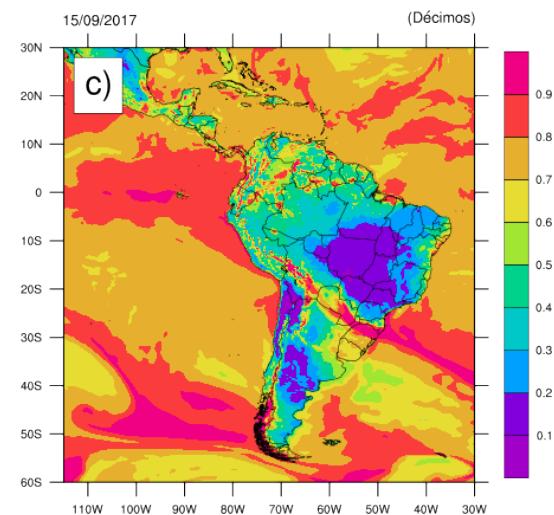
### Precipitação acumulada - IMERG



### Temperatura à superfície - GFS



### Umidade Relativa à superfície - GFS



Fonte: Produção dos autores.

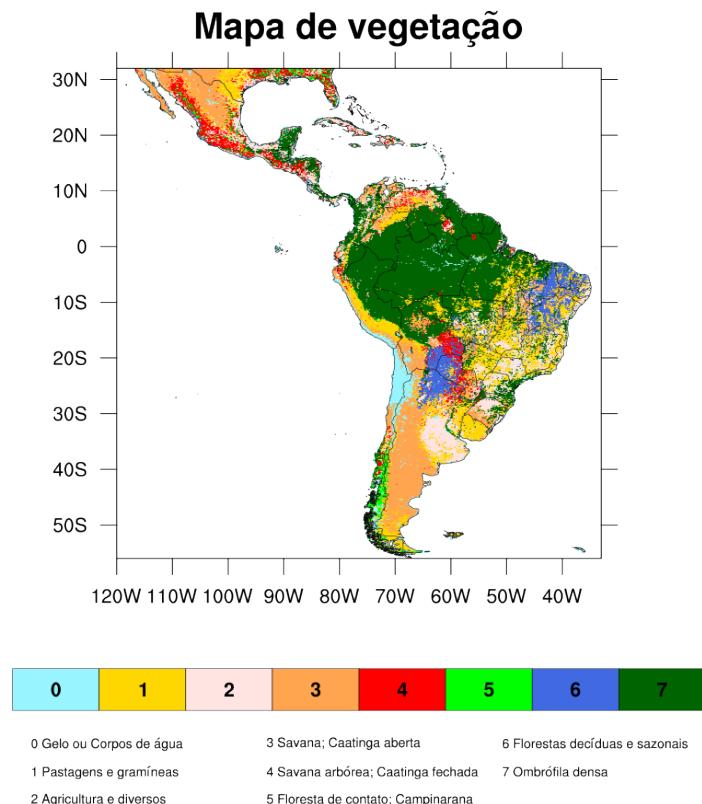
Tabela 2.1 - Classes de Vegetação, Classes principais e valores da constante de flamabilidade “A”.

Classes de Vegetação do IGBP		Classes principais	Classes IBGE (agrupadas)	Cte. “A”
0	<i>Water</i>	0	Corpos d’água	-x-
1	<i>Evergreen Needleleaf forest</i>	5	Floresta de contato; Campinarana	2,0
2	<i>Evergreen Broad leafforest</i>	7	Ombrófila densa	1,5
3	<i>Deciduous Needleleaf forest</i>	5	Floresta de contato; Campinarana	2,0
4	<i>Deciduous Broadleaf forest</i>	6	Florestas decíduas e sazonais	1,72
5	<i>Mixed forest</i>	5	Floresta de contato; Campinarana	2,0
6	<i>Closed shrublands</i>	4	Savana arbórea; Caatinga fechada	2,4
7	<i>Open shrublands</i>	3	Savana; Caatinga aberta	3,0
8	<i>Woody savannas</i>	4	Savana arbórea; Caatinga fechada	2,4
9	<i>Savannas</i>	3	Savana; Caatinga aberta	3,0
10	<i>Grasslands</i>	1	Pastagens e gramíneas	6,0
11	<i>Permanent wetlands</i>	0	Alagados permanentes	1,5
12	<i>Croplands</i>	2	Agricultura e diversos	4,0
13	<i>Urbanand built-up</i>	0	Áreas urbanas e construídas	-x-
14	<i>Cropland/Natural vegetation mosaic</i>	2	Agricultura e diversos	4,0
15	<i>Snowand ice</i>	0	Neve e gelo	-x-
16	<i>Barren/sparsely vegetated</i>	0	Solos expostos; mineração	-x-

Fonte: Produção do autor

Os mapas de vegetação são substituídos sempre que o IGBP e o MapBiomass divulgam nova versão anual. Nota-se também nessa tabela o valor da constante “A” que é utilizada mais adiante, no cálculo do RF, na Equação 3.4. O “-x-” indica que nenhum valor é atribuído a essa constante.

Figura 2.2 - Mapa de vegetação IGBP das Américas em 2016 combinado com o MapBiomass do Brasil em 2017, utilizados no cálculo do Risco de Fogo observado.



Fonte: Adaptado pelos autores a partir da versão dos mapas de vegetação do IGBP para 2016 e Mapbiomas2 de 2017.

### 3. SEQUÊNCIA DE CÁLCULO DO RISCO DE FOGO

O “RF observado” é calculado a partir de dados meteorológicos medidos nas estações de superfície, interpolados para toda grade espacial da região e, também combinado com a ocorrência de focos de queima detectados pelos satélites do Programa Queimadas do INPE. A partir deste risco, são determinados os demais riscos para datas e períodos futuros (SISMANOGLU e SETZER, 2004a; SISMANOGLU e SETZER, 2004b; SISMANOGLU e SETZER, 2004e). Desde maio/2007 passou a ser gerado o gráfico “fogograma”, com a previsão numérica do risco para cinco dias, juntamente

com a de outras variáveis meteorológicas; ele é produzido para qualquer localidade pontualmente na tela do Banco de Dados de Queimadas (BDQ, 2019) (<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>); o fogograma é enviado automaticamente aos usuários para os locais de suas preferências quando estiver definido nas opções dos relatórios automáticos enviados diariamente em formato pdf. A sequência de cálculos do RF, criada e aprimorada desde 1998 por Setzer (comunicação pessoal, 2018) está resumida a seguir.

### Precipitação acumulada

Determinar diariamente, para os pontos de grade espacial de toda área geográfica de abrangência com resolução 10 km, o valor da precipitação acumulada para onze intervalos de dias imediatamente anteriores à data de interesse, de 1, 2, 3, 4, 5, 6a10, 11a15, 16a30, 31a60, 61a90 e 91a120 dias, utilizando dados do IMERG e, gerando os valores do conjunto de variáveis da Equação 3.1.

$$\begin{aligned} & \text{Prec1(1)} \\ & \text{Prec2(1a2)} \\ & \text{Prec3(1a3)} \\ & \text{Prec4(1a4)} \\ & \text{Prec5(1a5)} \\ & \text{Prec10(1a10)} \\ & \text{Prec15(1a15)} \\ & \text{Prec30(1a30)} \\ & \text{Prec60(1a60)} \\ & \text{Prec90(1a90)} \\ & \text{Prec120(1a120)} \end{aligned} \tag{3.1}$$

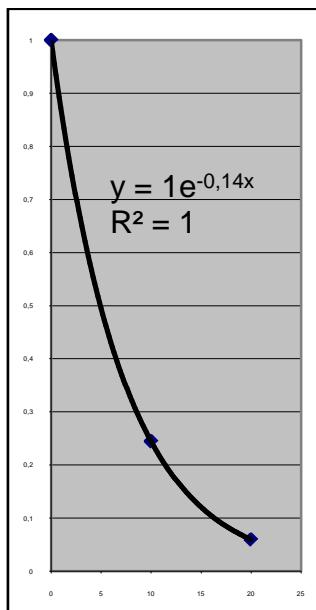
As equações acima representam o conjunto de 11 variáveis (Equação 3.1) com os totais de precipitação por intervalo de dias. Por exemplo, “Prec15(1a15)” é o total de chuva em  $\text{mm dia}^{-1}$  acumulado nos 15 dias imediatamente anteriores à data de interesse.

### Fatores de precipitação

Calcular os “Fatores de Precipitação” ( $fp$ ) com valores de 0 a 1 (Equação 3.2), para cada um dos onze períodos da precipitação acumulada, por meio de uma função exponencial empírica da precipitação, específica para cada um dos onze intervalos. Estes fatores têm dois propósitos: quantificar o RF em função do volume de precipitação em eventos próximos à data de interesse, e diminuir o efeito da precipitação no RF à medida que o evento fica mais distante no passado. As equações para esse cálculo são mostradas abaixo, e os índices dos “ $fp$ ” referem-se a uma contagem regressiva que tem como referência o dia anterior ao da data de interesse. Por exemplo, se o cálculo foi feito para o dia 13 de um certo mês,  $fp2$  refere-se aos dados do dia 11 do mesmo mês, e  $fp6a10$  aos dados do período dos dias 03 a 09.

$$\begin{aligned}
 fp1 &= e^{-0.14 \times prec\ 1} \\
 fp2 &= e^{-0.07 \times (prec\ 2 - prec\ 1)} \\
 fp3 &= e^{-0.04 \times (prec\ 3 - prec\ 2)} \\
 fp4 &= e^{-0.03 \times (prec\ 4 - prec\ 3)} \\
 fp5 &= e^{-0.02 \times (prec\ 5 - prec\ 4)} \\
 fp6a10 &= e^{-0.01 \times (prec\ 10 - prec\ 5)} \\
 fp11a15 &= e^{-0.008 \times (prec\ 15 - prec\ 10)} \\
 fp16a30 &= e^{-0.004 \times (prec\ 30 - prec\ 16)} \\
 f31a60 &= e^{-0.002 \times (prec\ 60 - prec\ 30)} \\
 fp61a90 &= e^{-0.001 \times (prec\ 90 - prec\ 60)} \\
 fp91a120 &= e^{-0.0007 \times (prec\ 120 - prec\ 90)}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

A figura abaixo representa um exemplo do “ $fp1$ ” onde no eixo x são os valores da precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e no eixo y o valor do fator.



Fonte: Produção dos autores.

### Dias de Secura (PSE)

Calcular os “Dias de Secura” (PSE) pela multiplicação dos Fatores de Precipitação “fp”s de todos 11 períodos, conforme a Equação 3.3.

$$PSE = 105 \times fp1 \times fp2 \times fp3 \times fp4 \times fp5 \times fp6a10 \times fp11a15 \times fp16a30 \times fp31a60 \times fp61a90 \times fp91a120 \quad (3.3)$$

Neste procedimento, uma precipitação de alguns milímetros no dia anterior ao do cálculo tem efeito redutor na secura muito maior que se houvesse ocorrido, por exemplo, duas semanas antes. Assim, incorpora-se o cálculo do efeito temporal do regime de precipitação, inclusive dos ciclos sazonais de estiagem. O valor obtido corresponde a um número hipotético de dias seguidos sem chuva para caracterizar o estado da vegetação.

## Risco de Fogo Básico

Determinar o “Risco de Fogo Básico” (Rb) para cada um dos sete tipos de vegetação considerados, por meio da Equação 3.4, onde a constante de flamabilidade “A” varia com os sete tipos de vegetação de acordo com a Tabela 3.4.

$$Rb_{-(n=1,7)} = \frac{0,8 \times \left\{ 1 + \operatorname{sen} \left[ ((A_{-n=(1,7)} \times PSE) - 90) \times \left( \frac{3,14}{180} \right) \right] \right\}}{2} \quad (3.4)$$

Tabela 3.4 – Valores assumidos pela constante “A” para as 7 classes de vegetação do Risco de Fogo.

Classe de Vegetação	Ombrófila densa; alagados	Florestas Decíduas e sazonais	Florestas Contato; Campiniana	Savana arbórea; Caatinga fechada	Savana; Caatinga aberta	Agricultura e diversos	Pastagens Gramíneas
Cte. “A”	1,5	1,72	2,0	2,4	3,0	4,0	6,0

Fonte: Produção do autor.

A Figura 3.1 a seguir ilustra a variação do Risco Básico utilizando as equações e conceitos acima. Notar que o eixo dos “dias sem chuva” se aplica tanto a um período real de dias sem chuva, como também aos “Dias de Secura”, que correspondem a um período hipotético sem chuva calculado a partir da quantidade e distribuição temporal das precipitações ocorridas em 120 dias. 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 de 0,8, 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.

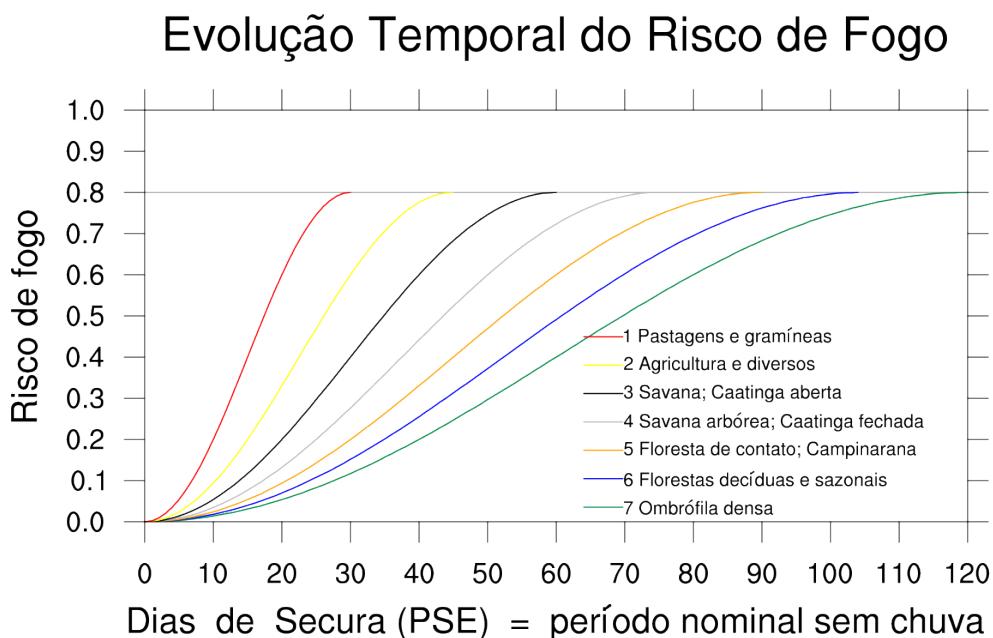


Figura 3.1 - Variação senoidal do Risco Básico em função do período de secura PSE para sete tipos de vegetação durante 120 dias. Notar o valor máximo do Risco igual a 0,8.

Fonte: Produção do autor.

#### Fator de Umidade Relativa do ar

Ajustar o risco de fogo para a umidade relativa do ar à superfície local no dia do cálculo, pois neste método o risco aumenta inversamente com a umidade relativa (UR). Abaixo de 40% o risco aumenta e diminui para valores acima desta referência. Usam-se os valores de umidade do ar às superfícies locais das análises do modelo GFS no horário das 18UTC, assumidos como sendo os mínimos diários da UR. A Figura 2.1c mostra um exemplo do campo de UR usado no ajuste do Risco. A Equação 3.5 representa o ajuste linear:

$$FU = [UR \times (-0.006)] + 1,3 \quad (3.5)$$

#### Fator de Temperatura do Ar

Ajustar também o Risco de Fogo para a temperatura máxima do ar à superfície local no dia do cálculo, que neste método tem um efeito linear diretamente proporcional no Risco. O Risco aumenta para temperaturas acima

de 30°C e diminui para valores abaixo desta referência. Usam-se os valores de temperatura do ar à superfície local das análises das 18UTC do GFS, considerando que sejam seus máximos diários. Na Figura 2.1b mostra-se um caso do campo usado no ajuste do risco. A Equação 3.6 representa o ajuste linear:

$$FT = (T_{max} \times 0,02) + 0,4 \quad (3.6)$$

### Risco de Fogo Observado

Gera-se o Risco de Fogo observado (Equação 3.7), multiplicando o valor do Risco de Fogo Básico (Equação 3.4) com valores de 0,0 a 0,8 pelos fatores da umidade relativa mínima (Equação 3.5) e da temperatura do ar máxima (Equação 3.6) à superfície:

$$RF = Rb \times FT \times FU \quad (3.7)$$

A partir desta versão do RF, passou-se a considerar o efeito do fator latitudinal (FLAT, equação 3.8) e do fator topográfico (FELV, equação 3.9), ambos introduzindo ajustes lineares. As equações abaixo foram utilizadas nessa nova versão:

$$FLAT = (1 + \text{abs(latitude[graus])} * 0,003) \quad (3.8)$$

$$FELV = 1 + \text{elevação[metros]} * 0,00003 \quad (3.9)$$

Onde latitude e elevação referem-se à latitude do local e a elevação do terreno, respectivamente, e desta maneira o valor final do RF é dado pela equação 3.10.

$$RFb = RF \times FLAT \times FELV \quad (3.10)$$

A seguir, atribui-se as seguintes categorias para os níveis do Risco de Fogo Básico conforme a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Categorias de Risco de Fogo.

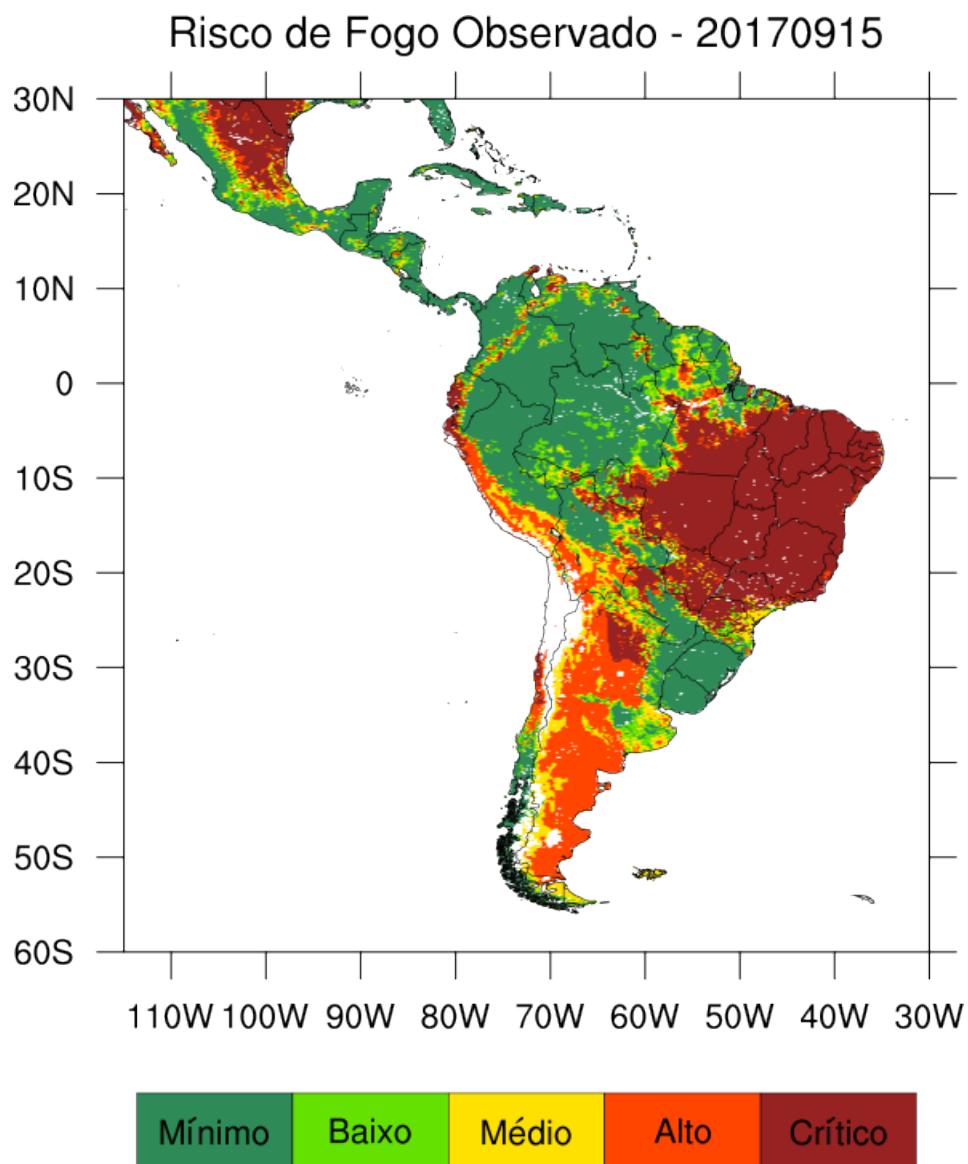
Risco	Valores do Risco de Fogo (RF)	Cor
Mínimo	$RF < 0,15$	
Baixo	$0,15 < RF \leq 0,40$	
Médio	$0,40 < RF \leq 0,70$	
Alto	$0,70 < RF \leq 0,95$	
Crítico	$RF > 0,95$	

Fonte: Produção do autor.

#### Correção do Risco de Fogo para a detecção de focos de queima.

Finalmente, quando se verifica 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 que originalmente teria entre 0 e 0,4, passa a valer entre 0,7 e 0,95 (risco alto) caso um foco tenha sido detectado no seu interior. A título de exemplo, observa-se na Figura 3.2 o campo do RF para o dia 15/Set/2017 sobre a América do Sul, classificada em cinco níveis de acordo com a Tabela 3.5; em Mato Grosso, os núcleos isolados com risco alto decorreram da presença de focos nas áreas com cor marrom.

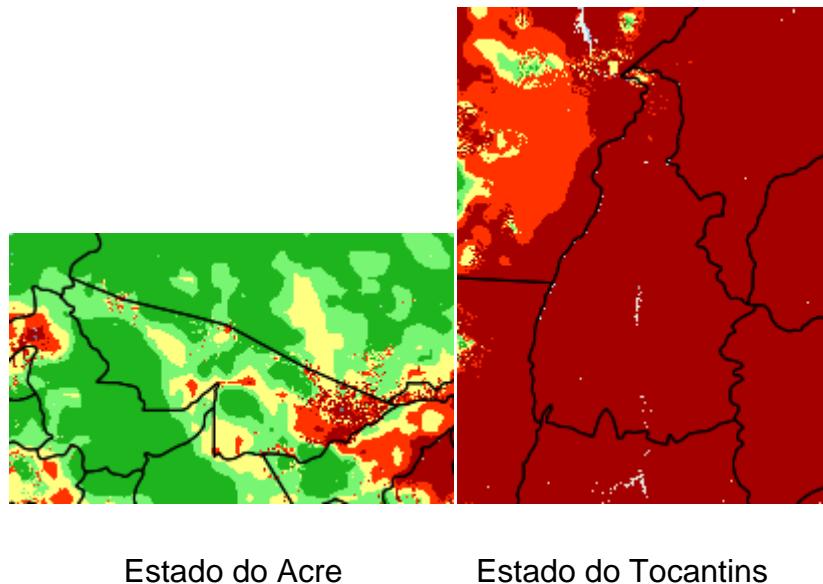
Figura 3.2 - Risco de Fogo Observado para o dia 15/Set/2017 e classificado em 5 categorias que variam de mínimo (verde = 0) a crítico (marrom = 1).



Fonte: Produção do autor.

### **Exemplos do risco de fogo e avaliação de desempenho**

As figuras abaixo correspondem ao produto de risco de fogo para os estados do Acre (figura da esquerda) e do Tocantins (figura da direita). As cores referem-se às categorias de risco de fogo conforme a Tabela 3.5.



A figura abaixo é de outro produto gerado pelo Programa Queimadas, conhecido como “fogograma”, onde são fornecidas as previsões do risco de fogo, além das de variáveis meteorológicas, para um período de cinco dias.

## FogoGrama

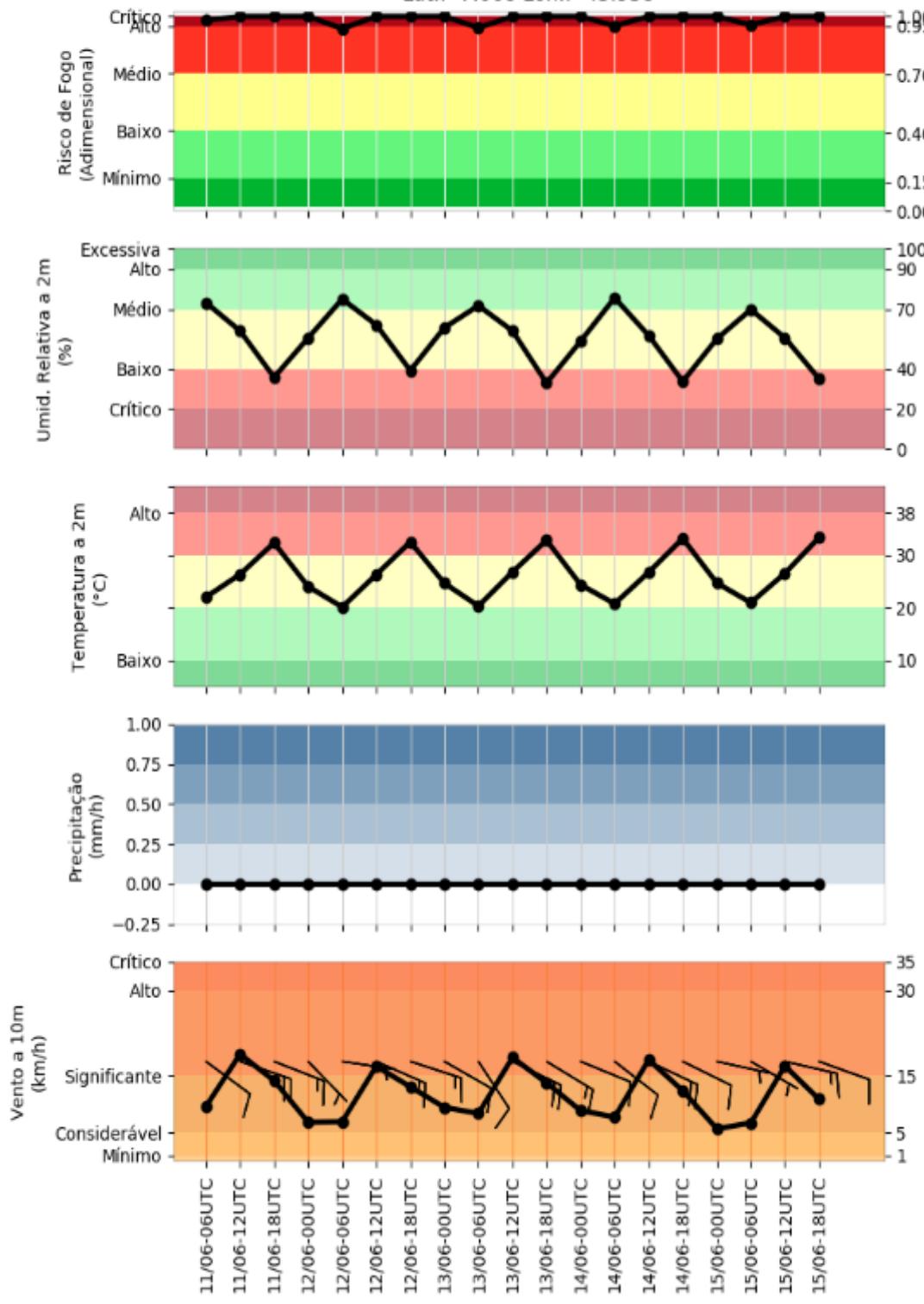


INPE/Programa Queimadas - Risco de Fogo Previsto - Modelo GFS 25km

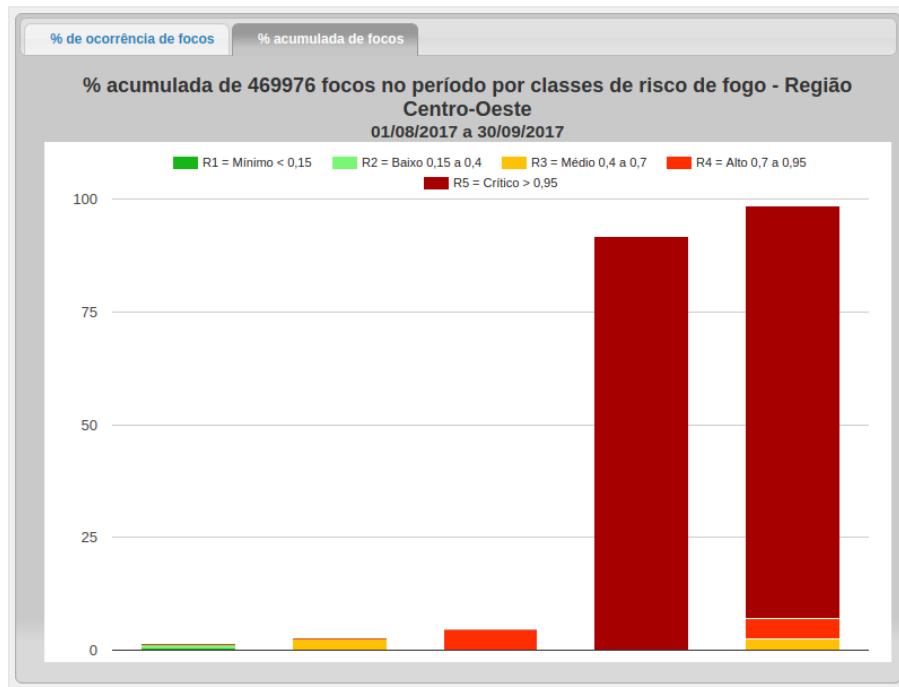
Início da Previsão: 20180611 - 06 UTC

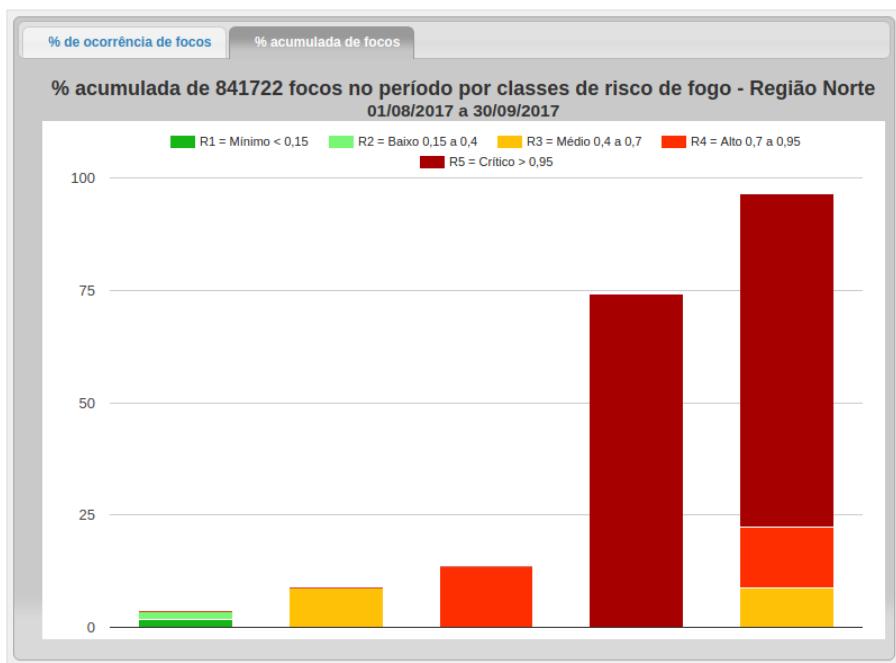
Fim da Previsão: 20180615 - 18 UTC

Lat.: -7.068 Lon.: -43.938



Outro produto fornecido refere-se à análise de acerto do cálculo do RF para as cinco regiões do País, e seus resultados são atualizados diariamente. Abaixo, a figura superior é para a região centro-oeste, enquanto que a inferior é para a região Norte, ambas para o período de 01/08/2017 a 30/09/2017. O acesso a esta análise encontra-se em: <http://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/analise-risco-fogo/>.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BDQ - Banco de Dados de Queimadas, Programa Queimadas/INPE, 2019.  
[\(<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>\)](http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas)
- FRIEDL, M. A.; SULLA-MENASHE, D.; TAN, B.; SCHNEIDER, A.; RAMANKUTTY, N.; SIBLEY, A.; HUANG, X. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 168-182, 2010.
- HOU, A. Y.; KAKAR, R. K.; NEECK, S.; AZARBARZIN, A. A.; KUMMEROW, C. D.; KOJIMA, M.; OKI, R.; NAKAMURA, K.; IGUCHI, T. The Global Precipitation Measuring Mission. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, p. 701–722, 2014.
- HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J. 2015: Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) technical documentation. NASA Doc., 47 p. Disponível em:  
[http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document\\_files/IMERG\\_doc.pdf](http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_doc.pdf). Acesso em: 08 junho 2017.
- HUFFMAN, G.; BOLVIN, D.; BRAITHWAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; XIE, P. GPM IntegratedMulti-SatelliteRetrievals for GPM (IMERG) Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 4.5. Greenbelt, MD, 2014. 30 p. Disponível em:  
[https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document\\_files/IMERG\\_ATBD\\_V4.5.pdf](https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V4.5.pdf). Acesso em: 08 junho 2017.

(IBGE, 2018), <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/vegetacao.html>

- PPA 2016.[http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/2016-2019\\_PPA\\_Queimadas-INPE.jpg](http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/2016-2019_PPA_Queimadas-INPE.jpg)
- SETZER, A.; PEREIRA, M. C.; PEREIRA, J. R. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. **Climanálise**, v. 7, n. 8, p. 40–53, 1992.
- SISMANOGLU, R.; SETZER (b), A. Avaliação da previsão do risco de fogo desenvolvido no INPE aplicando o modelo ETA: Analise objetiva e comparativa entre duas versões para 2003. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2004. Disponível em:  
[<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409\\_sismanoglu&setzer\\_cbm8\\_fortaleza\\_638.pdf>](http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbm8_fortaleza_638.pdf). Acesso em: 08 junho 2017.
- SISMANOGLU, R.; SETZER, A (a). Avaliação regional dos prognósticos do risco de fogo semanal do CPTEC aplicando o modelo ETA e dados observacionais na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2004. Disponível em:  
[<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409\\_sismanoglu&setzer\\_cbm8\\_fortaleza\\_639.pdf>](http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbm8_fortaleza_639.pdf). Acesso em: 08 junho 2017.
- SISMANOGLU, R.; SETZER, A (e). Previsibilidade do risco de fogo semanal aplicando o modelo ETA em até quatro semanas com atualização de dados observacionais na América do sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2004. Disponível em:  
[<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409\\_sismanoglu&setzer\\_cbm8\\_fortaleza\\_640.pdf>](http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbm8_fortaleza_640.pdf). Acesso em: 08 junho 2017.
- SISMANOGLU, R.; SETZER, A (d). Risco de fogo para a vegetação da América do Sul: comparação de duas versões para 2003. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2004. Disponível em:  
[<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409\\_sismanoglu&setzer\\_cbm8\\_fortaleza\\_636.pdf>](http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbm8_fortaleza_636.pdf). Acesso em: 08 junho 2017.

Versão Risco\_Fogo\_INPE\_20170928.docx

## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o International Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São assequências de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.