



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

**CARACTERIZAÇÃO DO RISCO DE FOGO METEOROLÓGICO NO BRASIL  
UTILIZANDO DADOS DA REANÁLISE ERA-INTERIM PARA O PERÍODO 1979-2005**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Thaís Morais Ruffo ( UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: thaisruffo@gmail.com

Dr. Alberto W. Setzer (INPE, Orientador)  
E-mail: alberto.setzer@cptec.inpe.br

Dr. Renata Libonati (LASA /UFRJ, Orientadora).  
Email: renata.libonati@igeo.ufrj.br

Julho de 2018



## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Parâmetro de vegetação
a, b, d	Constantes
D	Temperatura do ponto de orvalho
FP	Fator de precipitação
FT	Fator de temperatura
FU	Fator de umidade
PSE	Índice de secura
RB	Risco básico
RF	Risco de fogo
T, Tmax	Temperatura máxima
U, UR	Umidade relativa



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

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 Área de estudo

Figuras 2 a 8 Variação sazonal de cada bioma contendo os parâmetros FT, FU, RB e RF

Figura 9 Mapa da variação sazonal do período de 1979 a 2005

Figura 10 e 12 Comparação entre os biomas para o parâmetro RF

Figura 11 e 13 Risco de fogo para cada tipo de vegetação

Tabela 1 Valores assumidos para a constante A para os sete tipos de vegetação

Tabela 2 Classificação meteorológica de fogo

Tabela 3 Classificação da vegetação brasileira de acordo com níveis de risco de



## SUMÁRIO

### RESUMO

<b>1-INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
1.1 RESUMO DO PLANO INICIAL DE TRABALHO.....	6
1.2 OBJETIVOS.....	7
1.3 RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	7
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>8</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
3.1 DESCRIÇÕES DA AQUISIÇÃO DE DADOS.....	8
3.2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE FOGO .....	9
3.3ÁREA DE ESTUDO.....	11
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>12</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>19</b>
<b>7.TRABALHOS PUBLICADOS.....</b>	<b>20</b>
<b>6.REFERÊNCIAS .....</b>	<b>20</b>



## RESUMO

Os incêndios são uma das mais importantes fontes de danos aos ecossistemas florestais nas regiões em desenvolvimento. Além disso, tem importância ecológica fundamental devida sua influência sobre a poluição atmosférica e mudanças climáticas, que têm impactos diretos e indiretos sobre os habitats e os ecossistemas. Devido à tamanha importância do estudo da ocorrência de fogo, essa análise baseia-se no Índice de Perigo de Fogo Meteorológico desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A América do Sul é um continente marcado por ampla diversidade de biomas, dessa forma é crucial analisar e entender os padrões climáticos que aumentam a suscetibilidade de queima.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo a reconstrução histórica do risco de fogo meteorológico na América do Sul utilizando dados da reanálise ERA-INTERIM para o período 1979 - 20017, com 0.01° de resolução espacial e através de mapas de cobertura vegetal provenientes do produto IGBP derivado do sensor orbital MODIS (1 km de resolução espacial). Foram obtidos dados de temperatura máxima, temperatura do ponto de orvalho para calcular a umidade relativa e precipitação. Através desses dados foi possível calcular para cada bioma, fatores imprescindíveis ao cálculo final do risco de fogo (RF), a saber: fator de umidade (FU), fator de temperatura (FT), risco básico (Rb). Os resultados permitem identificar os tipos de vegetação e biomas brasileiros com maior predisposição climática ao fogo, assim como caracterizar as tendências e variações espaços-temporais ocorridas ao longo das últimas três décadas.

## 1-Introdução



## 1.1-Resumo do plano de trabalho inicial

A queima da vegetação causa substanciais impactos ecológicos, atmosféricos e climáticos. Os biomas brasileiros são afetados pelo fogo todos os anos, constituindo-se em importantes fontes regionais e globais de emissões de gases do efeito estufa e aerossóis (Bowman et al., 2009; Pivello, 2011; Libonati et al., 2015). Para mitigar os efeitos do fogo no Brasil é necessário caracterizar a vulnerabilidade de cada ecossistema relativamente ao fogo, ou seja, quantificar a susceptibilidade de cada tipo de vegetação à ocorrência de incêndios. Paralelamente à contribuição antropogênica e ao tipo de cobertura do solo, a predisposição de uma determinada região ao fogo é influenciada diretamente pelo clima. Para quantificar a vulnerabilidade climática da vegetação para a ocorrência de queimadas pode-se utilizar índices de risco de fogo baseados em variáveis meteorológicas e no tipo de vegetação (Field et al, 2015).

Índices de risco ou perigo meteorológico de fogo são rotineiramente utilizados para identificar condições favoráveis ao início de incêndios na vegetação. A metodologia consiste em modelar a umidade da vegetação em resposta às variáveis meteorológicas, quantificando a suscetibilidade ao fogo de cada tipo de vegetação de acordo com as condições do tempo. O Índice de Risco de Fogo Meteorológico, desenvolvido internamente pelo Grupo de Monitoramento de Queimadas/INPE Brasil (Sismanoglu e Setzer, 2004), tem sido amplamente utilizado de forma operacional pelo INPE para fornecer informações em tempo real sobre do risco de incêndio diário observado (utilizando dados medidos em estações meteorológicas in situ) e previsto (utilizando modelos de previsão do tempo) no Brasil.

A análise histórica da variabilidade do risco meteorológico de fogo no Brasil é crucial para compreender as relações históricas entre a predisposição meteorológica aos incêndios e o regime de fogo observado à escala continental, identificar fenômenos atmosféricos e oceânicos de grande escala que controlam o risco de fogo, quantificar as incertezas do Índice de Risco de Fogo Meteorológico e introduzir modificações nos seus limiares, além de fornecer informações históricas sobre o comportamento do fogo, contribuindo para analisar projeções do índice de fogo em diversos cenários de mudanças climáticas. Este tipo de análise histórica pode ser feita utilizando-se dados diários medidos em estações meteorológicas de superfície. Neste caso, porém, além da reconstrução de falhas temporais nos dados, torna-se necessário uma interpolação espacial para construção de mapas de risco de fogo contínuos no espaço e no tempo. Uma maneira de solucionar o problema é a utilização de dados de reanálises. Apesar do viés associado quando comparado com observações in situ, este conjunto de dados modelados é a única forma possível de calcular o risco de fogo de forma consistente e contínua (ao longo do tempo e do espaço) à escala continental (Field et al, 2015).

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo a reconstrução histórica do risco de fogo meteorológico no Brasil utilizando dados da reanálise ERA-INTERIM (Dee et al.,2011) para o período 1979 - 2005. Para tal, utilizam-se dados diários de temperatura máxima, umidade relativa e precipitação, provenientes de reanálises do ERA-INTERIM com 0,01° de resolução espacial e mapas de cobertura vegetal provenientes do produto IGBP derivado do sensor orbital MODIS (1 km de resolução espacial).

## 1.2-Objetivos



O presente estudo tem por finalidade realizar uma reconstrução histórica da predisposição climática dos diversos biomas brasileiros à ocorrência de incêndios através de dados diários de temperatura, umidade e precipitação. Realizando assim uma avaliação do comportamento de cada bioma brasileiro, mediante as certas condições climáticas, pôde influenciar nos incêndios durante o período de estudo. .

### **1.3-Resumo das atividades desenvolvidas**

A primeira etapa do trabalho engloba:

- ✓ Revisão bibliográfica
- ✓ Download dos dados globais diários de temperatura do ar a 2 metros, precipitação e temperatura do ponto de orvalho provenientes da reanálise ERA-INTERIM para o período 1979 – 2005, com 0,01° de resolução espacial;
- ✓ Download de dados tipo de cobertura vegetal derivados de satélites (IGBP-MODIS)
- ✓ Identificação das inconsistências nos dados;
- ✓ Remoção e correção de dados espúrios para homogeneizar os dados;
- ✓ Recorte dos dados para a região do Brasil;

A segunda etapa do trabalho engloba:

- ✓ Calcular o índice de risco de fogo observado de acordo com (Sismanoglu e Setzer, 2004) na região de estudo utilizando observações de Temperatura, Umidade e Precipitação utilizando dados de reanálises (ERA-INTERIM) para o período de 1979-2005.
- ✓ Identificar os tipos de cobertura do solo através do uso de dados de sensoriamento remoto e relacionar com o risco de fogo.
- ✓ Definir e calcular classes de risco de fogo (risco muito baixo, baixo, médio, alto, crítico) para todo o período;
- ✓ Gerar mapas do risco de fogo observado no período 1979-2005;



- ✓ Avaliar e quantificar através de técnicas estatísticas os principais padrões associados ao risco de fogo na região de estudo através da análise dos padrões espaços-temporais das observações de Temperatura, Umidade, Precipitação e do risco de fogo.
- ✓ Analisar a evolução temporal e espacial do risco de fogo e das variáveis climáticas através das três décadas analisadas, por tipo de cobertura vegetal e bioma. Finalmente a terceira etapa do Projeto considera a publicação de artigos científicos e a redação final com a avaliação e conclusões do projeto

## **2-Fundamentação Teórica**

A ocorrência do fogo na vegetação tem um papel fundamental no sistema climático na medida em que influenciam os padrões e os processos globais e locais dos ecossistemas, o ciclo do carbono e a produção de gases traço e emissões de aerossóis para a atmosfera (Bowman, D. M. et al., 2009).

O conhecimento sobre as condições meteorológicas tem grande importância na identificação e compreensão dos padrões atmosféricos que favorecem os incêndios na vegetação, além de contribuir na análise de projeções do regime de fogo em diversos cenários de mudanças climáticas.

## **3-Materiais e Métodos**

### **3.1- Descrições da aquisição de dados**

A avaliação do risco de incêndio baseia-se no chamado Índice de Perigo de Fogo Meteorológico, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), cujo objetivo é representar quantitativamente a predisposição da vegetação à ignição do fogo baseado em variáveis climáticas relevantes. A reconstrução histórica do risco de fogo meteorológico no Brasil é realizada através de informações diárias sobre precipitação, temperatura máxima e umidade relativa do ar provenientes das reanálises do ERA-INTERIM, que fornece dados com 0,01° de resolução espacial e também através de mapas de cobertura vegetal provenientes do produto IGBP derivado do sensor orbital MODIS com 1 km de resolução espacial para o período de 1979-2005 e modelado para a região brasileira.



### 3.2- Definição e classificação 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 (Sismanoglu e Setzer, 2004). O RF tem por finalidade revelar quão próximo uma vegetação está da queima tendo por base o acumulado de 120 dias seguidos sem ocorrência de nenhuma precipitação. Para minimizar os efeitos do fogo no Brasil faz-se necessário qualificar a predisposição de cada bioma à combustão. O Brasil é um continente que possui uma vasta diversidade de biomas, dessa forma é importante à identificação e o entendimento dos padrões climáticos que influenciam a suscetibilidade de queima. Isto é feito através do cálculo de Risco de fogo desenvolvido pelo CETEP/INPE.

O cálculo do risco meteorológico de fogo baseia-se em informações sobre a cobertura vegetal e sobre os valores diários da temperatura máxima, umidade relativa mínima e precipitação acumulada. Sua base está relacionada aos “Dias de securas” (PSE) e o valor obtido nesse cálculo corresponde a um número hipotético de dias seguidos sem chuva caracterizando assim o estado da vegetação, além de está vinculado a uma função exponencial específica, onde o propósito de suavizar o efeito da precipitação na medida em que sua ocorrência fica mais distante do passado.

Logo abaixo está à representação matemática do PSE e dos fatores de precipitação que constituem seu cálculo

$$PSE = 105 * f(x1) * f(x5) \dots f(x120)$$

Para determinar o PSE calculamos os fatores de precipitação, onde cada classe de precipitação está relacionada a uma função exponencial, com variação de 0 a 1.

$$f(x_{n=1..120}) = e^{-A_{n=1,5} x_{n=1,5}}$$

Onde A é constante estimada para cada função, variando de -0.0007 para 120 dias de chuva acumulada a -0.14, para 1 dia de chuva acumulada e x é a precipitação em milímetros.

O risco básico é a relação do PSE com os diversos tipos de biomas da região de estudo.



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

Onde A é um parâmetro que varia de acordo com a vegetação descrita abaixo.

CLASSVGET (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

Tabela 1: Valores assumidos para a constante A para os 7 tipos de vegetação

O perigo de incêndio aumenta para valores de umidade abaixo de 40% e de temperatura acima de 30° C. Sendo também levados em conta, os efeitos da umidade e temperatura, obtidas através das seguintes expressões:

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

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

Para o caso deste estudo não foi possível calcular o fator de umidade diretamente pela equação de ajuste do FU, logo se fez uso de dados de temperatura de ponto de orvalho e também da temperatura máxima das 18 UTC.

$$U(T, D) = 10 \left[ \frac{(c-c_1)^{+b} / (D+d)^{-b_1} / (T+d)}{(D+d)^a (T+d)^{-a_1}} \right]$$

Por fim, é obtido o valor de Risco de fogo final, multiplicando o risco básico com os fatores de umidade e temperatura.

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

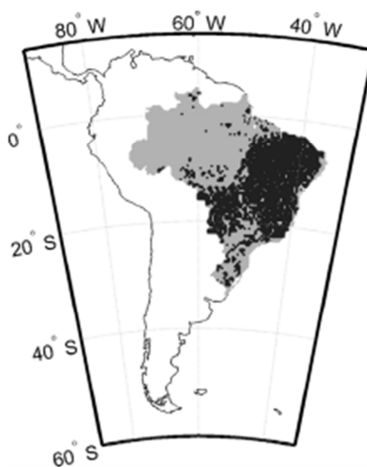
Como o RF varia entre zero e valor um pouco acima da unidade, é classificado em 5 classes de risco, descritas abaixo na tabela 2.

<i>RISCO</i>	<i>Valores RF</i>
<b>Mínimo</b>	➤ 0.15
<b>Baixo</b>	➤ 0.15 < 0.40
<b>Médio</b>	➤ 0.40 < 0.70
<b>Alto</b>	➤ 0.70 < 0.95
<b>Crítico</b>	➤ 0.95

Tabela 2: Classificação meteorológica de fogo

### 3.3. Área de estudo

A classificação do perigo meteorológico de fogo tem como foco os biomas presentes nas regiões brasileiras. As informações necessárias para essa classificação foram obtidas do mapa de cobertura vegetal proveniente do produto IGBP adaptado para o Brasil.



Fonte: Patrícia Silva, 2016.  
 Figura 1: área de estudo

## 4-Resultados

Com os dados descritos anteriormente foi possível calcular o risco de fogo meteorológico (RF) para cada tipo de bioma, conhecendo: fator de umidade (FU), fator de temperatura (FT) e risco básico (Rb). Os resultados mostram que grande parte dos biomas brasileiros tem seus maiores valores de RF entre agosto e setembro, que compreende a estação mais seca do ano. Além de observar que nos últimos doze anos os biomas, que antes foram classificados de alto a médio risco de fogo, agora atingem classificação baixa.

Classes vegetação IGBP	Média (Desvio Padrão) Histórica (1980-2005)	Classe Risco de Fogo	Média (Desvio Padrão) Histórica (2006 - 2017)	Classe Risco de Fogo
1 - Grasslands	0,65 (0,04)	Médio	0.30(0.09)	Baixo
2 - Croplands	0,65 (0,04)	Médio	0.46(0.1)	Médio
3 - Savanna	0,75 (0,04)	Alto	0.32(0.2)	Baixo
4-Closed Shrublands	0,67 (0,04)	Médio/Alto	0.36(0.2)	Baixo
5 - Mixed forest	0,36 (0,05)	Baixo	0.19(0.07)	Baixo
6-Deciduous forest	0,74 (0,04)	Alto	0.36(0.4)	Baixo
7-Evergreen	0,31 (0,06)	Baixo	0.12(0.06)	Mínimo

Tabela 3: Classificação da vegetação brasileira de acordo com níveis de risco de fogo referente ao período de 1979 a 20017

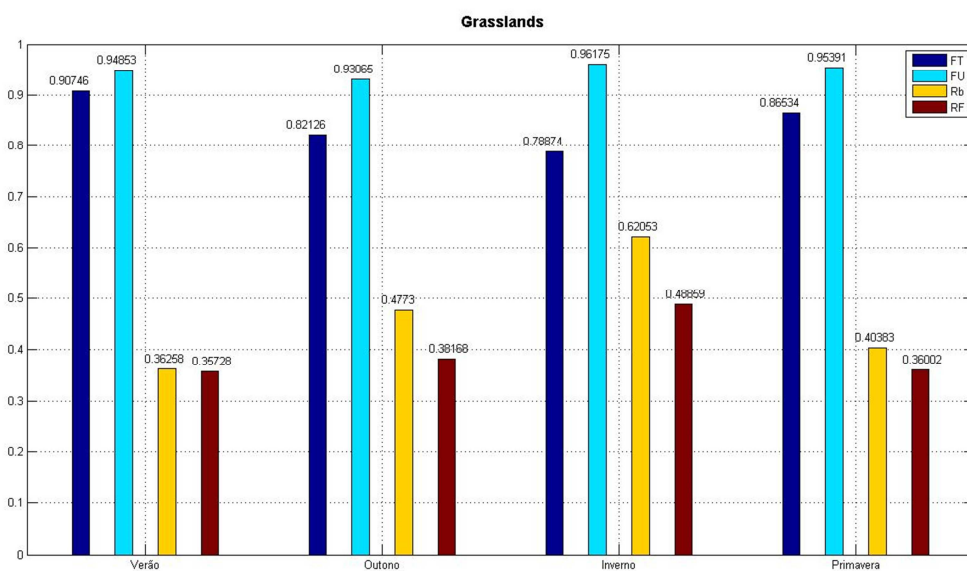


Figura 2: Variação sazonal do período de 1979 a 2005

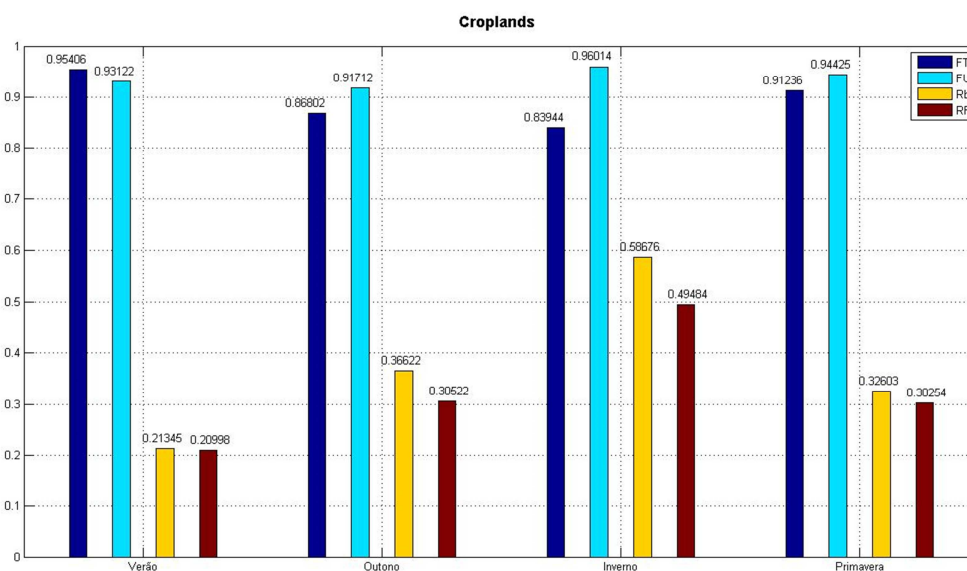


Figura 3: Variação sazonal do período de 1979 a 2005

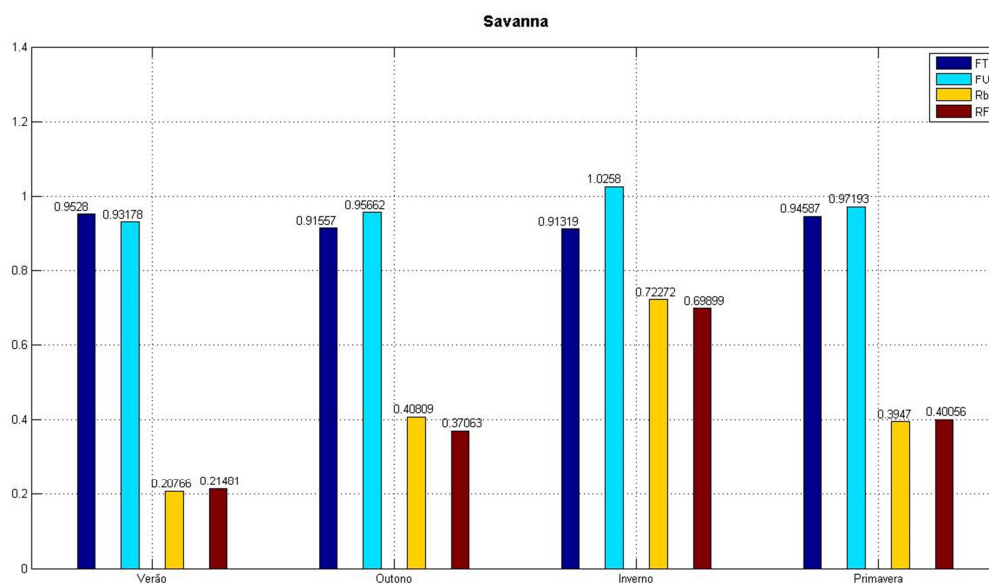


Figura 4: Variação sazonal do período de 1979 a 2005

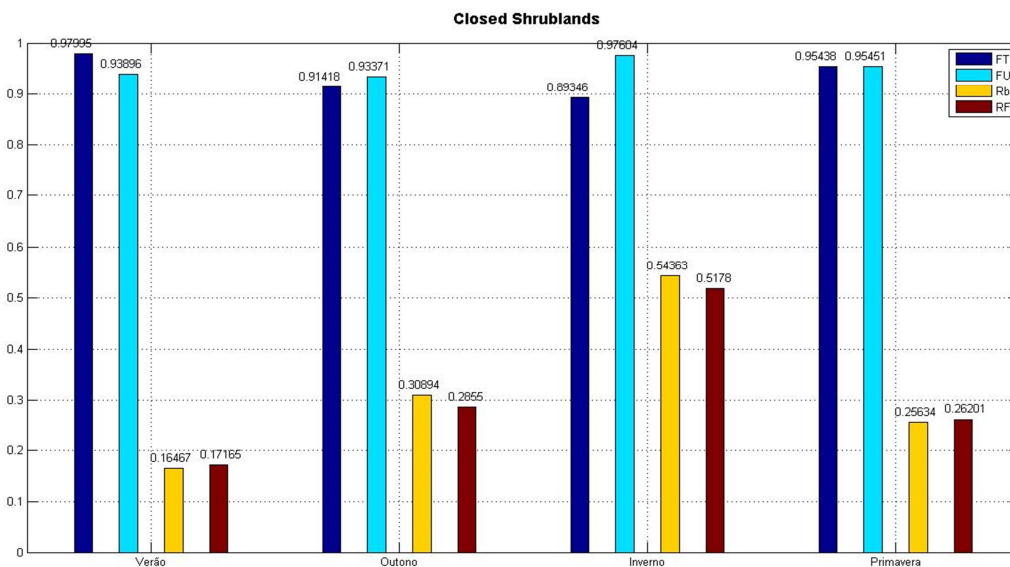


Figura 5: Variação sazonal do período de 1979 a 2005

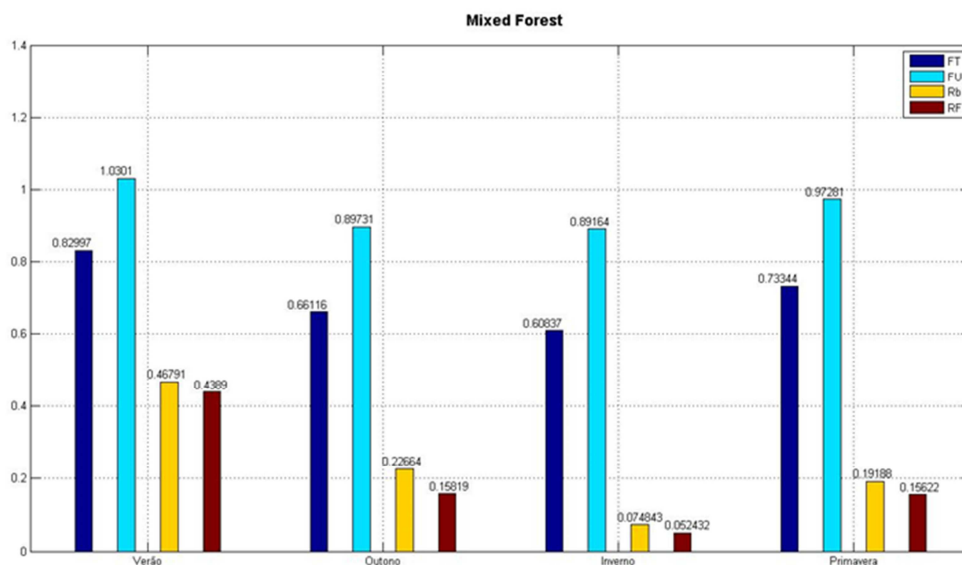


Figura 6: Variação sazonal do período de 1979 a 2005

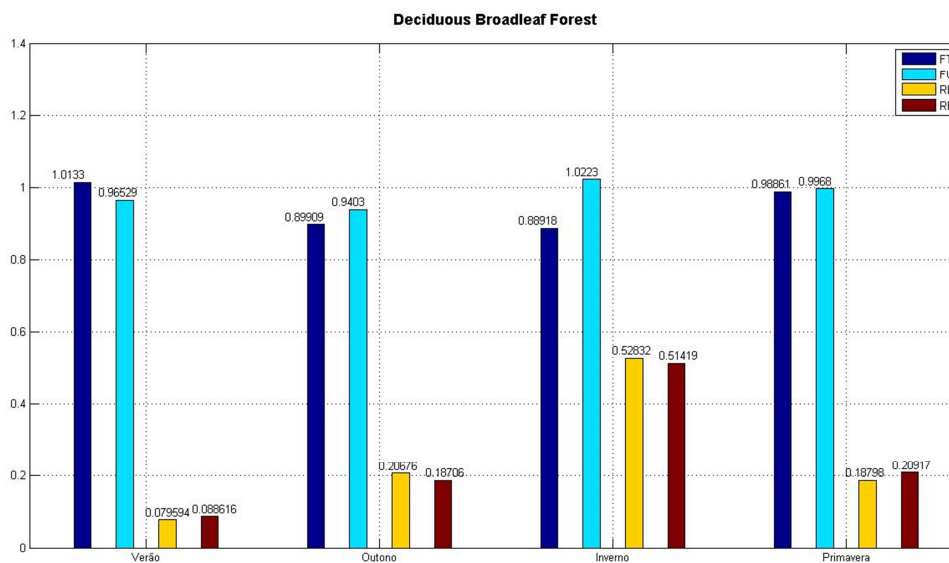


Figura 7: Variação sazonal do período de 1979 a 2005

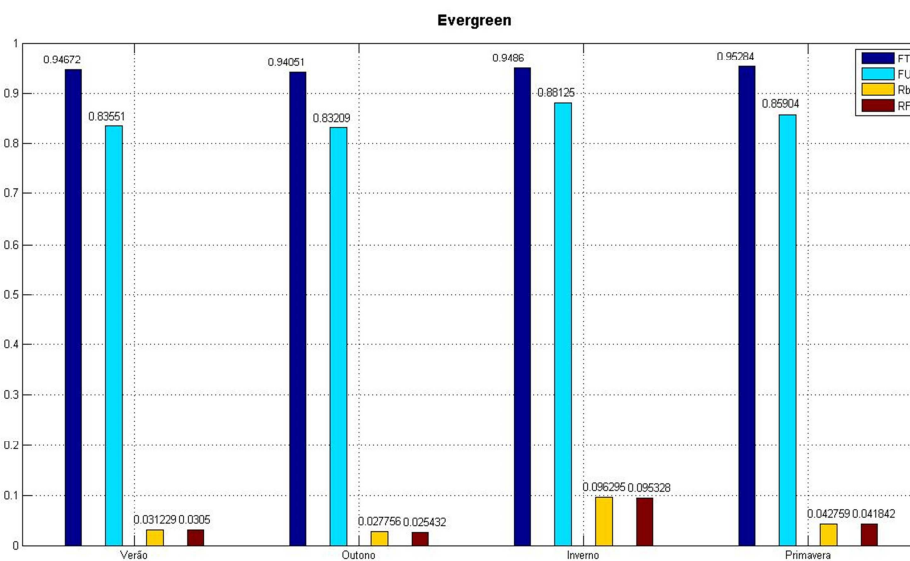


Figura 8: Variação sazonal do período de 1979 a 2005

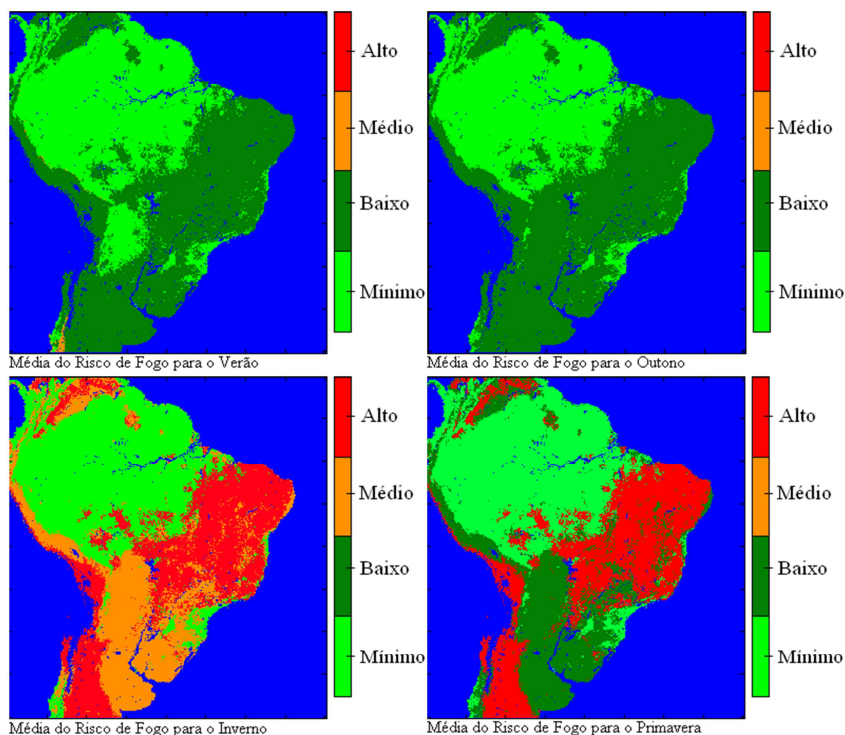


Figura 9: Mapa da variação sazonal do período de 1979 a 2005





A grande parte dos biomas apresenta valores máximos de RF entre o inverno e a primavera; com exceção do bioma Mixed forest que apresenta valores máximos de RF entre o verão e o outono. Savanna possui o maior valor máximo de RF dentre todos os biomas e um alto contraste sazonal. Já Evergreen possui baixo contraste sazonal e o baixo RF o ano inteiro.

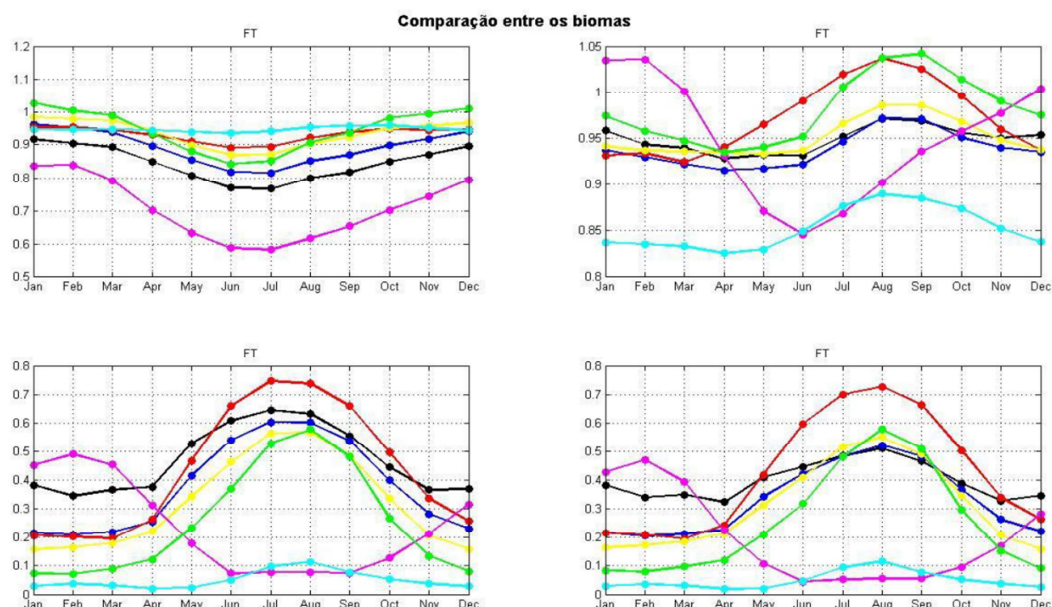


Figura 10: Comparação entre os biomas referente ao período de 1979 a 2005.

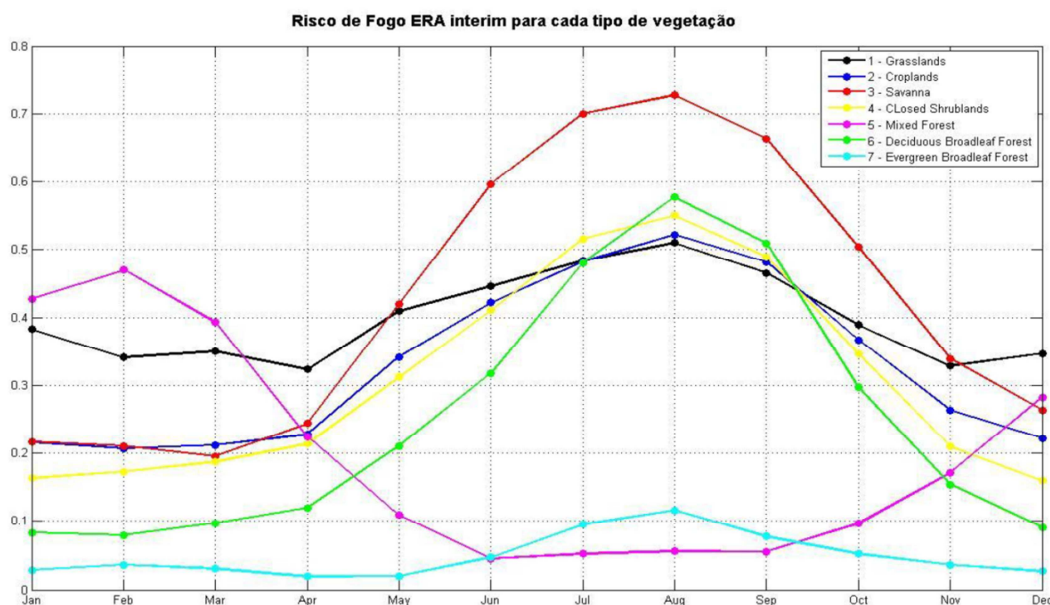


Figura 11: Mapa intra-anual de médias mensais do risco de fogo para cada bioma no período de 79 a 2005

De acordo com o mapa (Figura 11) o bioma Savana tende a ser a classe com maior suscetibilidade ao fogo, seguido por Deciduos forest no auge do inverno e Evergreen é o menos suscetível.

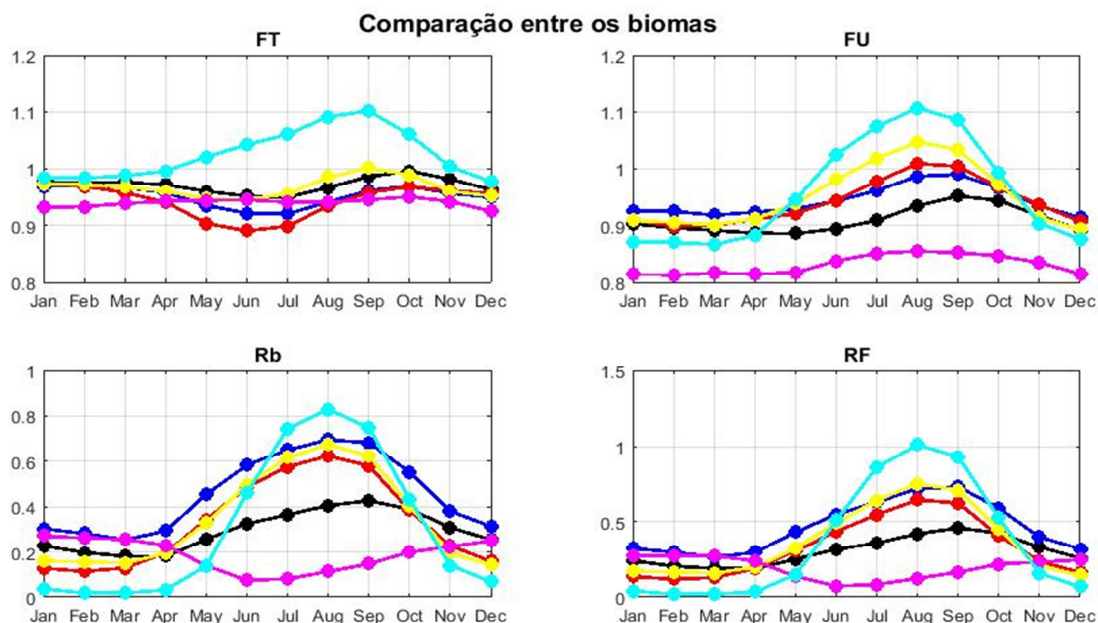


Figura 12: Comparação entre os biomas referente ao período de 2006 a 2017.

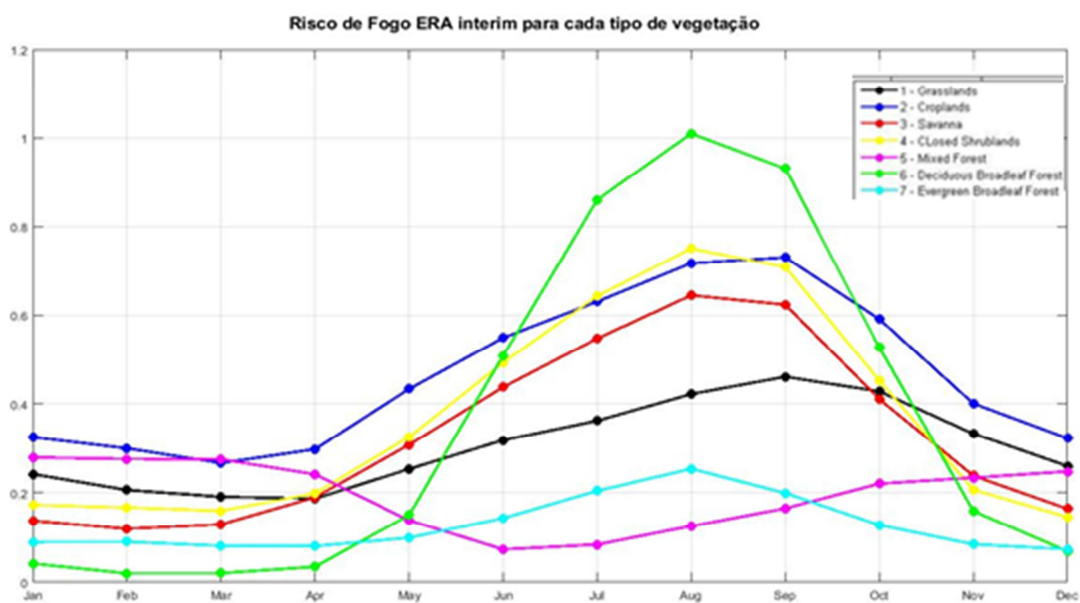


Figura 13: Mapa intra-anual de médias mensais do risco de fogo para cada bioma no período de 2006 a 2017

De acordo com o mapa (Figura 13) o bioma Deciduos forest, apesar de estar com baixo risco de fogo é a classe com maior suscetibilidade ao fogo, seguido por Closed shrublands e Ccroplands entre agosto e setembro e Evergreen permanece sendo o menos suscetível e agora risco de fogo mínimo.

## **5-Conclusões**

Os resultados permitem identificar os tipos de vegetação e biomas brasileiros com maior predisposição climática ao fogo, e analisar as tendências do regime do risco de fogo e variações espaços-temporais ocorridas ao longo das últimas três décadas.

De forma geral as classes apresentaram maior risco de fogo no inverno. Savana é o mais suscetível ao fogo comparado às demais vegetações. Ao longo do ano tem mais de 50% do risco entre as classificações médio / alto. Evergreen é o menos suscetível à queima dentre todas as vegetações, permanecendo o ano inteiro abaixo do risco mínimo. Deciduos forest apresenta uma variação abrupta em relação às demais vegetações. Além de ser o segundo bioma com valor mínimo no verão e o segundo mais suscetível à queimada no inverno. Mixed forest é a única vegetação que, ao contrário dos demais, apresenta risco mínimo no inverno e atinge risco médio no verão.

Os resultados também permitem observar que, nos últimos doze anos o risco de fogo teve uma redução de aproximadamente 40 % diante do período ao período de 79 a 2005. Biomas como Savanna e Deciduos forest que antes foram classificados com alto risco de fogo, agora são identificados com baixo risco; sendo Deciduos mais predisposto a queima em relação a Svanna.

### **Trabalhos publicados:**

RUFFO.T., LIBONATI,R., SETZER,A.W. Caracterização do risco de fogo meteorológico no Brasil utilizando dados de reanálises ERA- Interim para o período 1979 – 2005. (2017). Seminário de Iniciação Científica (INPE-SICINPE).

RUFFO. T., LIBONATI, R., SETZER, A.W. DOMINGUEZ. T., NASCIMENTO. M. Análise espaço-temporal do perigo meteorológico de fogo na América do sul utilizando dados de reanálise ERA- Interim para o período de 1979-2005. (2017). Jornada de iniciação Científica (JIC- UFRJ).

### **Referências:**

DEE, D.P.; UPPALA, S.M.; SIMMONS, A.J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; et al.. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 137(656), p. 553-597, 2011

LIBONATI, R.; DACAMARA, C.C.; SETZER, A.W.; MORELLI, F.; MELCHIORI, A.E. An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 m MODIS Imagery. Remote Sensing, v. 7, p. 15782-15803, 2015.

SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A.W. Risco de fogo para a vegetação da América do Sul: comparação de duas versões para 2003. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, Fortaleza, CE, set. 2004. Available at: [http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409\\_sismanoglu&setzer\\_cbmet8\\_fortaleza\\_636.pdf](http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_636.pdf). Accessed on: 25 nov. 2015. FUTURE PROJECTIONS OF FIRE OCCURRENCE IN BRAZIL USING EC-EARTH CLIMATE MODEL