

## Avaliação do risco de incêndio florestal (RIF) através de modelagem de dados espaciais

Jânio Marcos Rodrigues Ferreira<sup>1</sup>  
Marcos Henrique Martins<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo - SVMA  
Rua do Paraíso, 387 - 04103-000 - São Paulo - SP, Brasil  
janiorferreira@prefeitura.sp.gov.br  
mhmartins@prefeitura.sp.gov.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo – USP/FFLCH  
Caixa Postal 72042 - 05508-000 - São Paulo - SP, Brasil.  
marcos.henrique.martins@usp.br

**Abstract.** Environmental management is intimately connected to geospatial analysis on account of the growing need to plan short and long term actions that depend on a number of cartographic information. However, the amount of information oftentimes hinders rapid decision-making, which is absolutely necessary to control certain environmental incidents such as forest fires. This study aimed to calculate forest fire risk within a certain area of the city of São Paulo with the aid of a flow chart developed in ArcGIS 10.2 Model Builder. The results obtained show high accuracy and precision, indicating the potential of the new tool developed in this work. Therefore, it is important to reiterate here the necessity of making use of theories and methods in geoprocessing with regard to environment management.

**Palavras-chave:** Model Builder; environmental resource management; forest fires prevention; geoprocessing; gestão ambiental; prevenção de incêndios florestais, geoprocessamento.

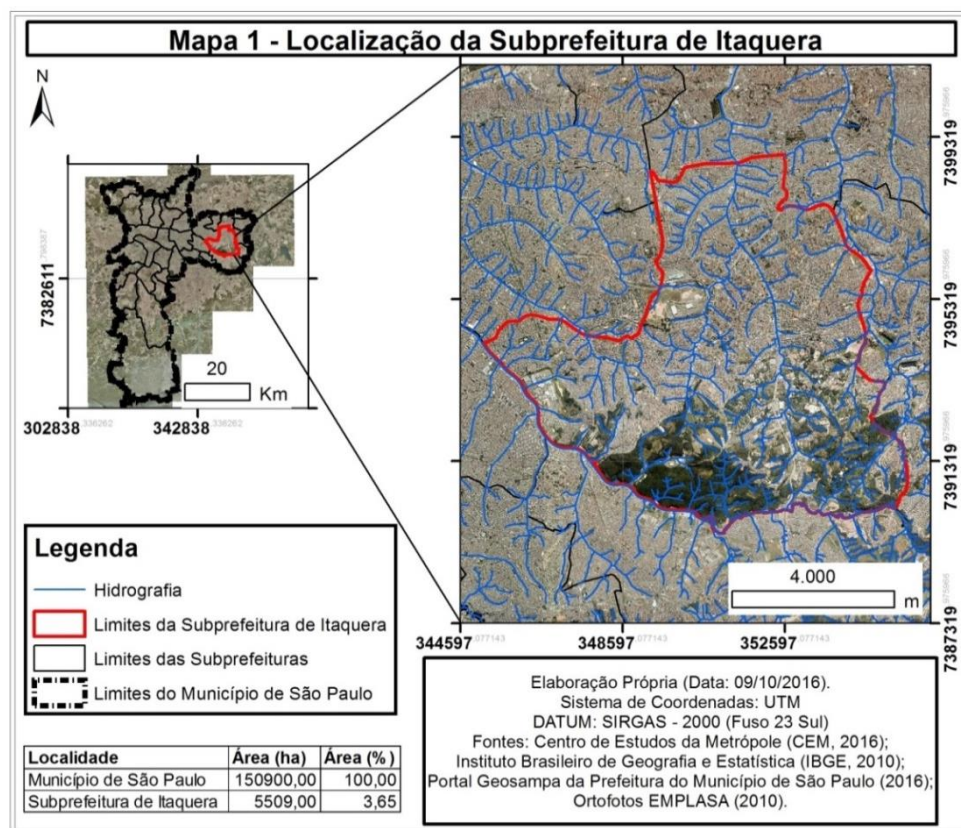
### 1. Introdução

No decorrer do século XX, especialmente depois do fim da Segunda Guerra Mundial, desenvolveu-se no cenário internacional, a partir da organização bem sucedida de vários grupos de ambientalistas, uma preocupação crescente com a extensão, impacto e tempo de resiliência das ações humanas sobre o meio ambiente. A partir desses movimentos de ambientalistas e das políticas que foram resultantes dos acordos internacionais celebrados nas últimas décadas, cresce em visibilidade e importância os estudos relativos aos impactos ambientais causados pela ação humana, bem como a necessidade de se prognosticar medidas preventivas ou mitigadoras desses impactos.

Neste contexto político, surgem propostas metodológicas, algumas delas de grande aplicabilidade e, portanto, de grande importância para o desenvolvimento de pesquisas preocupadas com o meio ambiente e com a necessidade de encontrarmos formas mais racionais de explorá-lo.

Um dos problemas de ocorrência frequente e com impacto negativo para a conservação dos remanescentes florestais é a supressão arbórea ocasionada por incêndios, sejam eles de origem criminosa ou acidental. Neste sentido, nosso trabalho tem como objetivo identificar o risco de incêndio florestal a partir de uma série de análises geoespaciais, envolvendo dados de origem e estrutura diversas, com o auxílio do *Model Builder* do *software* ArcGis 10.2.

A área de estudo escolhida para a aplicação da metodologia para definição do risco de incêndio florestal (RIF) foi a subprefeitura de Itaquera, no município de São Paulo (SP), conforme a figura 1, a seguir.



**Figura 1:** Localização da Subprefeitura de Itaquera - São Paulo (SP).

Os sistemas ambientais naturais, frente às intervenções humanas, apresentam maior ou menor fragilidade, sendo esta dependente fundamentalmente das características genéticas desses ambientes.

Quando se trata da preservação dos remanescentes florestais com relevância ecológica, uma das questões que mais preocupam os gestores de áreas protegidas são os incêndios. “Dentre os vários agentes que afetam os recursos florestais, o fogo parece ser a maior calamidade. Florestas e outros tipos de vegetação estão constantemente expostos à ocorrência de incêndios de diferentes intensidades” (SOARES; SANTOS, 2002, p.220).

O impacto do fogo sobre a vegetação depende fundamentalmente do tipo de bioma em que o incêndio ocorre. Certamente, fisionomias de cerrado são mais resistentes às grandes temperaturas do que as de mata atlântica, por exemplo. Contudo, raramente os danos ocasionados por incêndios em áreas de proteção integral são nulos, especialmente quando a frequência dessas ocorrências não condiz com o tempo de regeneração da vegetação.

Destarte, “a alternativa utilizada pela maioria dos órgãos responsáveis pela proteção dos recursos naturais é a adoção de técnicas e medidas de prevenção [...]” (BATISTA, 2016, p.45). O levantamento, gestão e processamento de dados espaciais de origem e estrutura diversas são parte essencial da gestão preventiva e combativa dos incêndios florestais. Dessa forma, “o zoneamento de risco ou os mapas de risco de incêndios têm sido empregados cada vez mais como instrumentos fundamentais no planejamento racional dos recursos destinados à prevenção e pré-supressão dos incêndios florestais” (BATISTA, 2000, p.45).

A ocorrência e propagação dos incêndios florestais estão condicionadas aos fatores associados ao fenômeno da combustão. Neste sentido, a probabilidade do fogo ocorrer e se propagar em um determinado local é função da probabilidade de haver uma fonte de fogo e da probabilidade de haver condições favoráveis para esse fogo se propagar.

Entre os fatores condicionantes da origem do fogo provocado estão, essencialmente, os fenômenos ligados à forma da ocupação humana, como presença de rodovias próximas, de

habitação precária e/ou de pressão imobiliária sobre a área florestada, por exemplo. As condições favoráveis à propagação do fogo são de natureza ambiental, como o clima, o tipo de vegetação, o acúmulo de material combustível na área afetada, a inclinação das vertentes e a exposição destas à insolação.

Sabe-se, por exemplo, que a quantidade de vapor d'água (umidade) que o material vegetal combustível pode absorver depende essencialmente da umidade do ar. “Dados sobre ocorrências de incêndios florestais demonstram que quando a umidade relativa do ar desce ao nível de 30% ou menos, torna-se extremamente difícil combater um incêndio florestal” (BATISTA, 2000, p.49).

No ensaio aqui proposto utilizaremos oito indicadores diretamente associados aos fatores ambientais e humanos determinantes do risco de incêndio florestal, a saber: Umidade Relativa, Temperatura, Precipitação, Altimetria, Declividade, Exposição das Vertentes à Insolação, Distância da Rede Viária e Uso e Ocupação da Terra. O recorte temporal utilizado foi o dia 12 de agosto de 2015, às 9h e às 17h, o que se justifica devido ao fato de o mês de agosto apresentar condições climáticas mais favoráveis à ocorrência de incêndios florestais, conforme observado em estudo referente ao período 1983-2002 (BATISTA; SANTOS; SOARES, 2016). Ademais, elegemos esses dois marcos horários no intuito de demonstrarmos a acurácia do fluxograma lógico elaborado para a definição do risco de incêndio florestal, tendo em vista as diferenças climáticas existentes entre essas duas horas do dia. Tais dados foram reclassificados em três classes, de acordo com as tabelas 1, 2 e 3 abaixo, de forma que a classe 1 é a que oferece menor risco de incêndio e a classe 3 a maior.

**Tabela 1 - Reclassificação da Precipitação**

Precipitação (mm)	Classificação
0 - 1250	3
1250 - 1350	2
Acima de 1350	1

**Tabela 2 - Reclassificação da Temperatura**

Temperatura (°C)	Classificação
0 - 18	1
18 - 19	2
Acima de 19	3

**Tabela 3 - Reclassificação da Umidade Relativa**

Umidade Relativa (%)	Classificação
0 - 30	3
30 - 40	2
40 - 100	1

**Tabela 4 - Reclassificação da Altimetria**

Altimetria (m)	Classificação
0 - 1000	3
1000 - 1200	2
Acima de 1200	1

**Tabela 5 - Reclassificação da Clinografia**

Declividade (%)	Reclassificação
0 - 12	1
12 ao 40	2
40 - 100	3

**Tabela 6 - Reclassificação da Exposição das Vertentes**

Exposição (em graus)	Reclassificação
-1	1
-68	3
67 - 122	2
112 - 247	1
247 - 292	2
292 - 360	3

**Tabela 7 - Reclassificação da Distância em Relação à Rede Viária**

Distância (m)	Reclassificação
0 (sobre a via)	1
0 – 100	3
Acima de 100	2

Os dados topográficos e morfológicos (altimetria, declividade e exposição das vertentes) também foram reclassificados de acordo com essas três classes, conforme se pode observar nas tabelas 4, 5 e 6 acima. Os dados relativos à rede viária foram reclassificados de forma que o risco de incêndio fosse maior a 100 metros de distância em relação à rede viária, conforme a tabela 7. Beiras de vias, especialmente as de grande circulação, tendem a ser focos recorrentes de incêndio.

O município de São Paulo, em levantamento recentemente publicado pela Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, apresenta cerca de 30,4% de cobertura vegetal remanescente do bioma Mata Atlântica (SVMA, 2016, p.41). Grande parte dessa vegetação concentra-se principalmente nas zonas sul, norte e leste do território do município, informação esta que foi determinante para a escolha da subprefeitura de Itaquera, localizada na zona leste do município (figura 1), como área de estudo. Desta forma, utilizamos o mapeamento do Plano Municipal da Mata Atlântica (PMMA) do referido município para a classificação das áreas verdes susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais.

As formas de uso e ocupação do solo mapeadas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. (EMPLASA), referentes ao ano de 2010, foram reagrupadas e classificadas de acordo com a escala pré-estabelecida, conforme podemos observar na tabela 8. Os dados de uso e ocupação do solo (EMPLASA, 2010) foram utilizados para a melhor classificação do risco de incêndio florestal nas bordas internas dos fragmentos florestais, na faixa dos 100 primeiros metros de borda. Essa ponderação foi feita a partir de uma média simples entre os valores atribuídos na tabela 8 e os valores atribuídos às classes do mapeamento realizado no âmbito do Plano Municipal da Mata Atlântica (SVMA, 2016), conforme podemos observar na tabela 9. Isso foi necessário devido ao fato de que os incêndios tendem a começar, geralmente, nas bordas dos fragmentos e estão fortemente associados às formas de uso e ocupação da terra que se estabelece no entorno desses fragmentos.

**Tabela 8 - Reclassificação do Uso e Ocupação da Terra**

Classes de Uso e Ocupação	Reclassificação
Urbanização Consolidada	1
Vegetação	2
Habitação Precária e Favelas	3

**Tabela 9 - Classificação dos Remanescentes de Mata Atlântica**

Vegetação	Reclassificação
Bosque Heterogêneo	3
Campo Alto Montano	1
Campos de Várzea	2
Campos Gerais	3
Mata de Várzea	1
Mata Ombrófila Densa	1

Ademais, faz-se necessário notar que as classes estabelecidas por nós têm caráter experimental e foram determinadas a partir de outros estudos (OLIVEIRA; BATISTA; SOARES; GRODZKI; VOSGERAU, 2004) e (SANTOS; LOUZADA; EUGÊNIO, 2010).



Por fim, é importante frisar que o impacto dos incêndios florestais sobre os remanescentes de mata atlântica do Município de São Paulo apresentam caráter negativo para a conservação dos fragmentos florestais. A área de estudo eleita apresenta uma das unidades de conservação de proteção integral do município, o Parque Natural Municipal Fazenda do Carmo, o qual poderá se beneficiar de estudos capazes de prever diariamente o risco de incêndio florestal.

## 2. Metodologia de Trabalho

A ampla gama dos materiais utilizados para a determinação do risco de incêndio florestal na subprefeitura de Itaquera exige um rol de procedimentos metodológicos.

Para a elaboração dos mapas utilizou-se os dados vetoriais (curvas de nível, hidrografia, limites administrativos e vias) do portal Geossampa do Município de São Paulo (2016). Além do mais, utilizou-se o mapeamento realizado pela Secretaria do Verde e do Meio Ambiente no âmbito do Plano Municipal da Mata Atlântica (SVMA, 2016) e os dados de uso e ocupação da terra da EMPLASA (2010). Também foram utilizados os dados climatológicos do município, disponibilizados pelo Centro de Gerenciamento de Emergências de São Paulo (CGE, 2016).

Os dados vetoriais já estavam projetados em UTM, Datum SIRGAS 2000, fuso 23 sul. Os dados climatológicos foram georreferenciados de acordo com o mesmo sistema de coordenadas UTM.

Todo este conjunto de materiais vetoriais coletados (linhas, pontos e polígonos) serviram de base para a elaboração dos mapas de risco de incêndio florestal da subprefeitura de Itaquera, o que foi feito com o auxílio da plataforma *Model Builder* do ArcGis 10.2.

O *Model Builder* é uma linguagem de programação visual que possibilita a elaboração de fluxos de trabalho em geoprocessamento. Os modelos criados permitem a automatização dos processos de gestão, tratamento e análise de dados espaciais. Tais modelos são apresentados em forma de um diagrama no qual são encadeadas sequências de processos e de ferramentas. Os *inputs* e *outputs* dos processos encadeados no fluxograma são as chaves de conexão entre esses processos.

A ferramenta para a definição do risco de incêndio florestal, denominada *GeoIgnis* (*Geo* = Terra e *Ignis* = Fogo), elaborada a partir da plataforma *Model Builder*, apresenta um fluxo de trabalho extenso, o qual foi simplificado para melhor compreensão (figura 2).

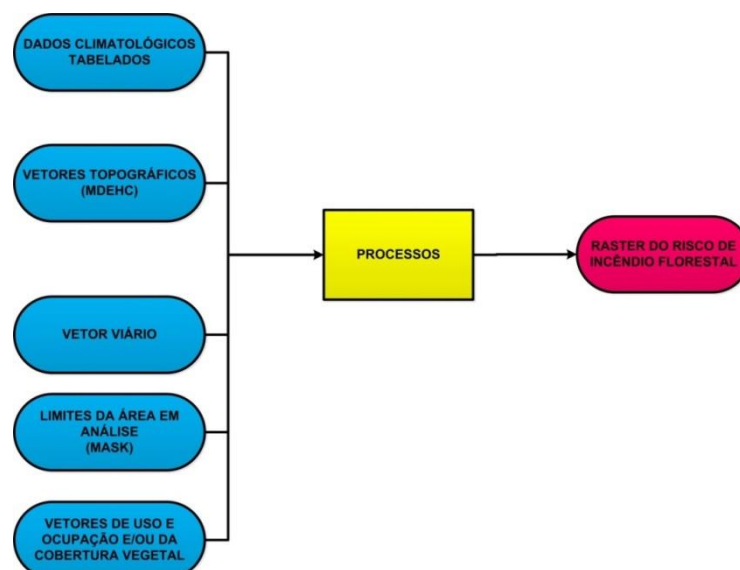


Figura 2: Fluxograma resumido da modelagem espacial no *Model Builder*.

Conforme podemos observar, o fluxo é composto de três elementos básicos: *inputs* (azul), processos (amarelo) e *outputs* (magenta), os quais estão interligados de forma lógica. Os *inputs* foram apresentados por nós previamente, no capítulo anterior. Os resultados serão apresentados a seguir. Os processos são constituídos por três grupos distintos: conversores, interpoladores e ferramentas da álgebra de mapas.

Os conversores que compõem o modelo são as ferramentas *Make XY Event Layer* (converte pontos coordenados em uma tabela para um *layer* de pontos) e *Feature to Raster* (converte feições vetoriais para raster). Os interpoladores que compõem a ferramenta são *Topo to Raster* (para elaboração de Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes) e *Inverse Distance Weighting* (IDW). Os dados climatológicos foram interpolados através deste interpolador (IDW), haja vista serem dados que apresentam continuidade espacial e relação proximal íntima entre si. Entre as ferramentas de álgebra de mapas que compõem o modelo estão *Map Calculator*, *Times*, *Plus* e *Divide*. A ferramenta *Map Calculator* está programada no âmbito do fluxograma para eliminar valores nulos no raster da vegetação, o que se faz necessário devido ao fato de estarmos considerando apenas o risco de incêndio para as áreas cobertas com vegetação, e não a totalidade do uso e ocupação da terra na área de estudo. As demais ferramentas (*Times*, *Plus* e *Divide*) são utilizadas para executar a equação 1 a seguir, em etapas.

$$\text{RIF} = \frac{9\text{ALT} + 15\text{SLP} + 8\text{EXPV} + 20\text{VEG} + 11\text{PREC} + 11\text{UR} + 11\text{TEMP} + 15\text{DEV}}{100} \quad (1)$$

Na qual:

**RIF** = Risco de Incêndio Florestal  
**ALT** = Altimetria  
**SLP** = Declividade  
**EXPV** = Exposição das Vertentes  
**VEG** = Cobertura Vegetal (PMMA)

**PREC** = Precipitação  
**UR** = Umidade Relativa\*  
**TEMP** = Temperatura  
**DEV** = Distância Euclidiana em  
Relação às Vias

Os valores das ponderações que compõem a média a qual da origem ao raster de risco de incêndios florestais são meramente experimentais, definidas por nós no âmbito deste trabalho.

Ademais, o fluxograma apresenta como condição para a elaboração do raster de risco de incêndio florestal a consideração de uma área de estudo previamente definida, denominada de *Mask*. Esta condição evita distorções nos procedimentos de interpolação e na álgebra de mapas, o que se faz necessário, por exemplo, por estarmos utilizando dados espaciais de todo o município de São Paulo, ainda que o raster final apresentará somente os resultados relativos às áreas da subprefeitura de Itaquera cobertas com vegetação remanescente da Mata Atlântica.

Essas são as considerações essenciais, do ponto de vista teórico e metodológico, que nos levaram aos resultados apresentados no capítulo a seguir.

### 3. Resultados e Discussão

Na figura 3, podemos observar as áreas florestadas que apresentam o maior risco de incêndio florestal, bem como as com menor risco, de acordo com as condições climáticas observadas às 9h do dia 12 de agosto de 2015. Na figura 4, elaborado de acordo com as condições climáticas das 17h do dia 12 de agosto de 2015, observa-se um aumento nas áreas classificadas com alto risco de incêndio florestal, o que se deve, essencialmente, à redução da umidade relativa do ar e à exposição à insolação nesse intervalo de tempo.

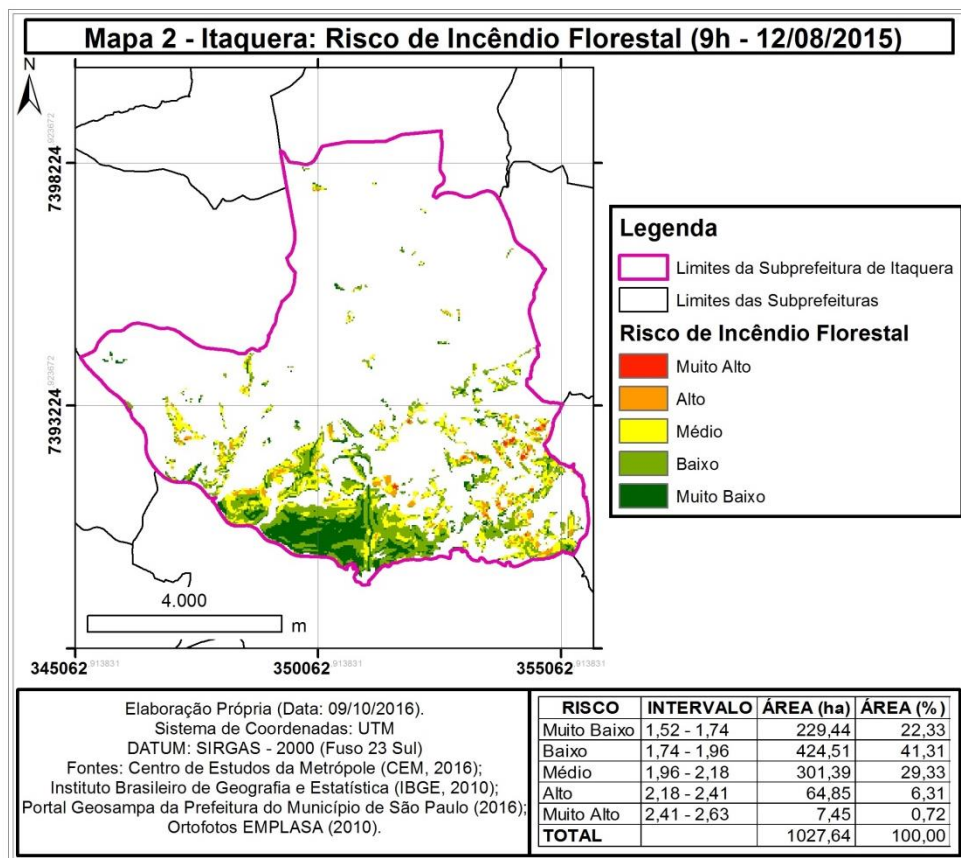


Figura 3: Risco de Incêndio Florestal (RIF) em Itaquera às 9h do dia 12/08/2015.

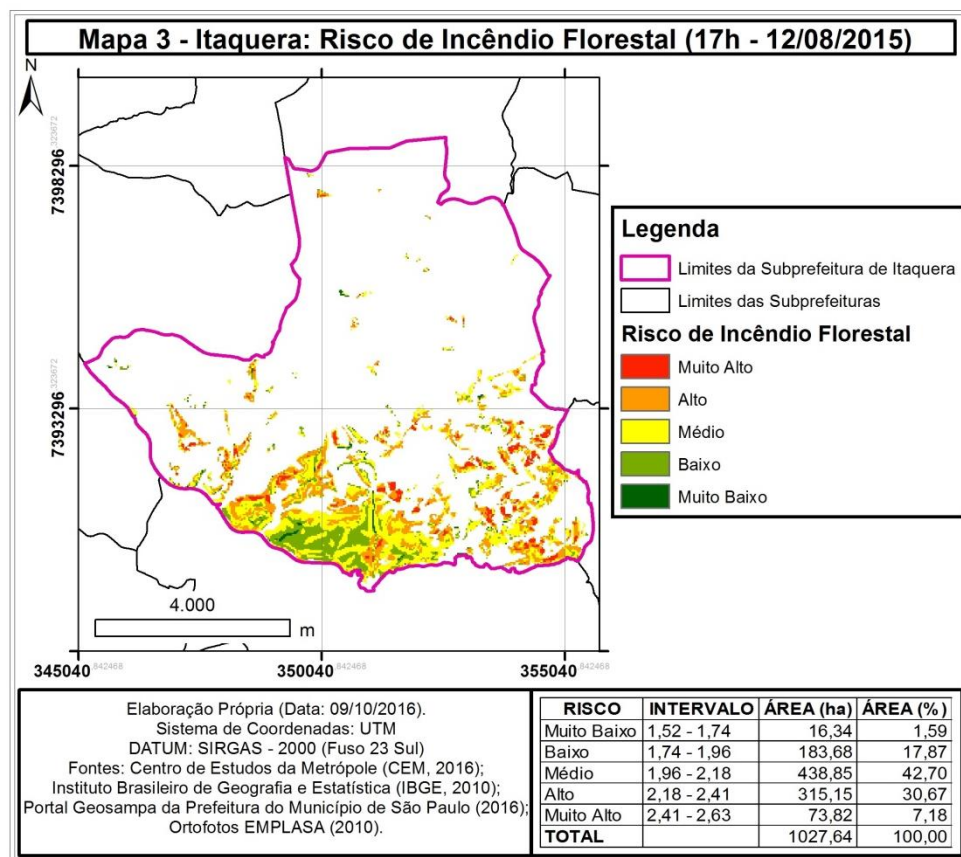


Figura 4: Risco de Incêndio Florestal (RIF) em Itaquera às 17h do dia 12/08/2015.

#### 4. Conclusões

A gestão ambiental tem íntima dependência das análises geoespaciais, haja vista a crescente necessidade de se planejar ações de curto e longo prazo que dependem de uma série de informações cartográficas. Neste sentido, verificou-se que a ferramenta *GeoIgnis*, desenvolvida na plataforma *Model Builder*, apresenta sensibilidade suficiente para a definição das áreas com maior ou menor risco de incêndio florestal no decorrer das horas do dia, o que confere potencialidade a este instrumento para sua aplicação na gestão de risco em áreas florestadas. Reitera-se, portanto, a necessidade e a importância da utilização das teorias e métodos em geoprocessamento para a gestão ambiental.

#### Referências Bibliográficas

BATISTA, Antonio Carlos. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, v.30, n.1/2, pp.45-54, 2000. Disponível em: <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo07.pdf>>. Acesso em 17 ago. 2016.

CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS (CGE). **Dados Climatológicos**. Disponível em: <<http://www.cgesp.org/v3/>>. Acesso em 17 ago. 2016.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. (EMPLASA). **Mapeamento de uso do solo da região metropolitana de São Paulo**. São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, Danielle dos Santos de; BATISTA, Antonio Carlos; SOARES, Ronaldo Viana; GRODZKI, Leocádio; VOSGERAU, Jackson. Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v.34, n.2, pp.217-221, Mai./Ago. 2004. Disponível em: <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo24.pdf>>. Acesso em 17 ago. 2016.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Portal Geossampa**. Disponível em: <[http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx)>. Acesso em 17 ago. 2016.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; LOUZADA, Franciane Lousada Rubini de Oliveira; EUGÊNIO, Fernando Coelho. **ARCGIS 9.3 total: aplicação para dados espaciais**. Alegre: CAUFES, 2010. Disponível em: <[http://mundogeomatica.com.br/Livros/Livro\\_ArcGIS%209.3\\_Aplicacoes\\_Para\\_Dados\\_Espaciais/Livro\\_ArcGIS93\\_Total.pdf](http://mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_Para_Dados_Espaciais/Livro_ArcGIS93_Total.pdf)>. Acesso em 17 ago. 2016.

SECRETARIA DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (SVMA). **Mapa dos Remanescentes do Bioma Mata Atlântica no Município de São Paulo**. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B0v1Q1bjd9a9T0g5N2NIZWdCc28/edit>>. Acesso em 17 ago. 2016.

SOARES, Ronaldo Viana; BATISTA, Antonio Carlos; SANTOS, Juliana Ferreira. **Evolução do Perfil dos Incêndios Florestais em Áreas Protegidas no Brasil de 1983 a 2002**. Disponível em: <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo15.pdf>>. Acesso em 17 ago. 2016.

SOARES, Ronaldo Viana; SANTOS, Juliana Ferreira. Perfil dos Incêndios Florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Revista Floresta**, Curitiba, v.32, n.2, pp.219-232, 2002. Disponível em: <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo04.pdf>>. Acesso em 17 ago. 2016.