

# COMPARAÇÃO DE ÍNDICE DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL COM FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO PARANÁ

Flavio Deppe<sup>1</sup>  
Eduardo Vedor de Paula<sup>2</sup>  
Carlos Roberto Meneghette<sup>3</sup>  
Jackson Vosgerau<sup>4</sup>

## RESUMO

Os índices de Risco de Incêndio Florestal refletem a possibilidade futura de ocorrência de incêndios, bem como a facilidade de os mesmos se propagarem de acordo com as condições atmosféricas do dia, ou de uma seqüência de dias. Para estimar o índice de risco de incêndio diário no estado do Paraná o Instituto Tecnológico SIMEPAR utiliza o Índice Monte Alegre (IMA). Este índice, desenvolvido pela UFPR, utiliza dados diários de umidade relativa do ar e precipitação, bem como o número de dias consecutivos sem chuva. Neste trabalho objetivou-se comparar a estimativa do Índice Monte Alegre para o estado do Paraná (para o ano de 2003), com as ocorrências de focos de calor detectados a partir do processamento de imagens oriundas dos satélites NOAA/AVHRR. O algoritmo de detecção de focos de calor utiliza imagens convertidas em parâmetros físicos de radiação e temperatura. Resultados indicaram significativa correlação entre índices de risco de incêndio elevados e a ocorrência de focos de calor, o que vem a confirmar o caráter de robustez do Índice Monte Alegre. Palavras chave: Risco de incêndio, focos de calor, imagens de satélites, variáveis meteorológicas.

## FIRE RISK INDEX COMPARED WITH HOT SPOTS IN PARANÁ STATE

### ABSTRACT

Fire risk indexes provide the future possibility of fire occurrence, as well as fire propagation according to daily atmospheric conditions or according to the conditions of a sequence of days. In order to estimate the daily fire risk index for Paraná state, the SIMEPAR Institute of Technology, uses the Monte Alegre Index (IMA). This index developed by the UFPR, uses daily data of air moisture and rainfall, as well as the number of days without rain. In this work the aim was to compare Monte Alegre Index estimates for the Paraná state (2003), with hot spots occurrence detected through NOAA/AVHRR image processing. The algorithm for hot spots detection uses images converted into physical parameters (radiation and temperature). Results indicated a significant correlation between high fire risk and hot spots occurrence. This confirms the Monte Alegre Index robustness. Key words: Fire risk, hot spots, satellite images, meteorological variables.

## INTRODUÇÃO

A maioria dos incêndios no estado do Paraná ocorre nos meses de outono, inverno e primavera, normalmente entre os meses de maio a outubro. Este período coincide com baixos índices pluviométricos e ocorrências de geadas, conseqüentemente expõem as áreas a elevados índices de risco de incêndio. A vegetação seja pastagens, capoeiras ou florestas, torna-se seca, com reduzido ou nenhum vigor vegetativo, e conseqüentemente,

com alta combustibilidade. Sendo assim, períodos com reduzida precipitação e que apresentam incidência de geadas, favorecem o início e a propagação de incêndios.

O monitoramento do índice de Risco de Incêndio Florestal aliado ao monitoramento de variáveis meteorológicas possui importância na caracterização de regiões que apresentam potencialidades de ocorrência de incêndios. Por exemplo, em função da possibilidade de

<sup>1</sup> [deppe@simepar.br](mailto:deppe@simepar.br), Ph.D., Instituto Tecnológico SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR, Caixa Postal 19.100, CEP 81.531-990, Curitiba, PR, Brasil, Tel.: +55 41 366-1133, Ramal 2108

<sup>2</sup> [eduardo@simepar.br](mailto:eduardo@simepar.br), Geógrafo, Instituto Tecnológico SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR, Caixa Postal 19.100, CEP 81.531-990, Curitiba, PR, Brasil, Tel.: +55 41 366-1133, Ramal 2111

<sup>3</sup> [carlosrb@simepar.br](mailto:carlosrb@simepar.br), Eng. de Computação, Instituto Tecnológico SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR, Caixa Postal 19.100, CEP 81.531-990, Curitiba, PR, Brasil, Tel.: +55 41 366-1133, Ramal 2111

<sup>4</sup> [jackson@pr.gov.br](mailto:jackson@pr.gov.br), Eng. Florestal, Instituto Ambiental do Paraná, Rua Engenheiro Rebouças, 1206, CEP 80.215-100, Curitiba, PR, Brasil, Tel.: +55 41 213-3828

identificação de regiões que possuem déficit de chuva, baixa umidade e também com a ocorrência de geadas (indicando o aumento da combustibilidade da vegetação), o que de maneira conjunta, caracteriza o potencial de ocorrências de incêndios.

Informações referentes aos Índices de Risco de Incêndio Florestal proporcionam subsídios às seguintes atividades: (i) Prevenção de incêndios, (ii) Combate aos incêndios, (iii) Dimensionamento de equipes, (iv) Dimensionamento de infra-estrutura, (v) Planejamento de ações de manutenção, (vi) Vigilância e monitoramento de incêndios.

A utilização dos Índices de Risco de Incêndio Florestal no estado do Paraná foi incentivada pelo incêndio ocorrido em 1963, o qual atingiu uma extensa área e resultou em danos irreparáveis. O Índice Monte Alegre, desenvolvido em 1972 (Soares 1972, Soares 1998), vem sendo utilizado por diversas empresas e instituições para estimar o grau de perigo de incêndio e subsidiar atividades de prevenção e combate a incêndios. Ainda, no caso do estado do Paraná, foi realizado um estudo determinando o zoneamento de risco de incêndios (ver Batista *et al.* 2002).

Para a geração de Índices de Risco de Incêndio devem ser considerados vários aspectos. Dentre os mais importantes destacam-se: (i) disponibilidade de dados meteorológicos, (ii) resolução temporal dos mesmos, (iii) densidade das estações meteorológicas, (iv) espacialização dos dados, (v) área de aplicação e/ou abrangência, (vi) recursos computacionais.

Exemplos de índices complexos podem incluir o índice desenvolvido pelo Serviço Florestal do Canadá, denominado CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System). Este sistema utiliza modelos baseados em observações de incêndios controlados e dados de combustibilidade de material florestal. Utiliza dados climáticos, topográficos e de combustibilidade. O referido índice indica taxas de propagação e intensidade de incêndios (Lee 2001). Outro índice complexo e adotado pelo Serviço Florestal dos USA é denominado NFDRS (National Fire Danger Rating System) (Andrews e Bradshaw 1997), o qual envolve a utilização de dados e informações referentes a combustibilidade da vegetação, clima,

características topográficas e taxas de propagação.

O objetivo deste trabalho é de realizar uma comparação espacial entre os Índices de Risco de Incêndio, a partir da utilização do Índice Monte Alegre, com focos de calor detectados através de imagens NOAA/VHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration/Advanced Very High Resolution Radiometer), processados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O período analisado compreende o ano de 2003.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o cálculo do Índice Monte Alegre, para o estado do Paraná, são utilizados os dados da rede telemétrica de estações meteorológicas do SIMEPAR. Estas 38 estações estão indicadas com pontos vermelhos na figura 1. Os dados meteorológicos são coletados automaticamente pelas estações, com frequência de 1 em 1 minuto, sendo que ao final de cada hora são calculadas estatísticas referentes ao período, como média, valores máximos e mínimos de cada hora. As estatísticas horárias são transmitidas ao satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) em intervalos de 3 em 3 horas, que os retransmite ao SIMEPAR em Curitiba, PR. Cada transmissão fornece as estatísticas dos dados horários durante o intervalo de 3 horas.

O Índice Monte Alegre foi desenvolvido a partir de dados da região central do Paraná (Soares 1972) e considera o Risco de Incêndio Florestal (RIF) como função de duas variáveis: (i) chuva diária e (ii) umidade relativa do ar às 13:00 horas. O Índice Monte Alegre é acumulativo, ou seja, quanto mais longa for a seqüência de dias com baixa umidade relativa e sem chuva, maior será o risco climático de incêndio florestal. Dependendo da intensidade da chuva ocorrida, o índice sofre abatimentos em seus valores. Quando a chuva diária exceder 12,9 mm o IMA volta a zero, e o Risco de Incêndio Florestal é nulo. A Equação 1 representa a fórmula utilizada para o cálculo do Índice Monte Alegre. A tabela 1 ilustra as categorias de risco e respectivos valores.



Figura 1: Rede telemétrica de estações meteorológicas do SIMEPAR  
 Figure 1: SIMEPAR's telemetric weather station network

$$IMA = \sum_{i=1}^n \frac{100}{H} \quad (1)$$

onde:  
 IMA = Índice Monte Alegre  
 H = umidade relativa do ar em %  
 n = número de dias sem chuva

Tabela 1: Risco de Incêndio e valores do Índice Monte Alegre  
 Table 1: Monte Alegre Index and values

Risco de Incêndio	Índice Monte Alegre
Nulo	<= 1,0
Baixo	1,1 - 3,0
Moderado	3,1 - 8,0
Elevado	8,1 - 20,0
Extremo	> 20,0

Para se obter informações representativas no espaço, as informações pontuais do Índice Monte Alegre foram extrapoladas para todo o território paranaense por meio de técnicas geoestatísticas de interpolação. O método utilizado para espacialização foi o Spline, existente na extensão Spatial Analyst do software ArcView GIS 3.3.

Os focos de calor utilizados aqui são oriundos do sistema de detecção do INPE/CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Maiores detalhes sobre o referido sistema, bem como a documentação

técnica referente aos algoritmos de detecção de focos de calor pode ser consultada no site [www.cptec.inpe.br/queimadas/index\\_noaa](http://www.cptec.inpe.br/queimadas/index_noaa).

Para que ocorra a detecção de focos de calor a partir de uma imagem NOAA/AVHRR três etapas demonstram-se necessárias: (1) Pré-processamento que corresponde à leitura primária dos dados brutos recebidos dos satélites, registro, navegação e correção geométrica; (2) Processamento que compreende a calibração, a detecção de nuvens, o controle de qualidade e a correção atmosférica. Posteriormente é realizado o cálculo dos parâmetros geofísicos (temperatura de brilho, radiância e fator de radiância); e (3)

Imagens transformadas em parâmetros físicos são então utilizadas como dados de entrada para a detecção de focos de calor. A descrição de algoritmos de métodos de detecção de focos de calor pode ser encontrada em Arino *et al.* 1993, Kennedy *et al.* 1993, Randriambelo *et al.* 1998, Minko *et al.* 1998 e Justice *et al.* 1996.

## RESULTADOS

No decorrer do ano de 2003 foram detectados 3.699 focos de calor no estado do Paraná (Figura 2). Deste total, pouco mais de 70% ocorreram nos meses de agosto, setembro

e outubro, conforme pode ser observado no gráfico representado na Figura 3.

Em relação à localização dos focos pôde-se notar uma elevada concentração na porção centro-sul do estado, onde se registraram 401 ocorrências no município de Prudentópolis e 158 no município de Cruz Machado. Distintamente, a porção litorânea, bem como o extremo oeste (com exceção do Parque Nacional de Ilha Grande), demonstraram um baixo número de focos detectados. Tanto que dos 399 municípios paranaenses, 112 não apresentaram nenhuma ocorrência e outros 140 apresentaram um número inferior a cinco focos de calor em todo o ano de 2003.

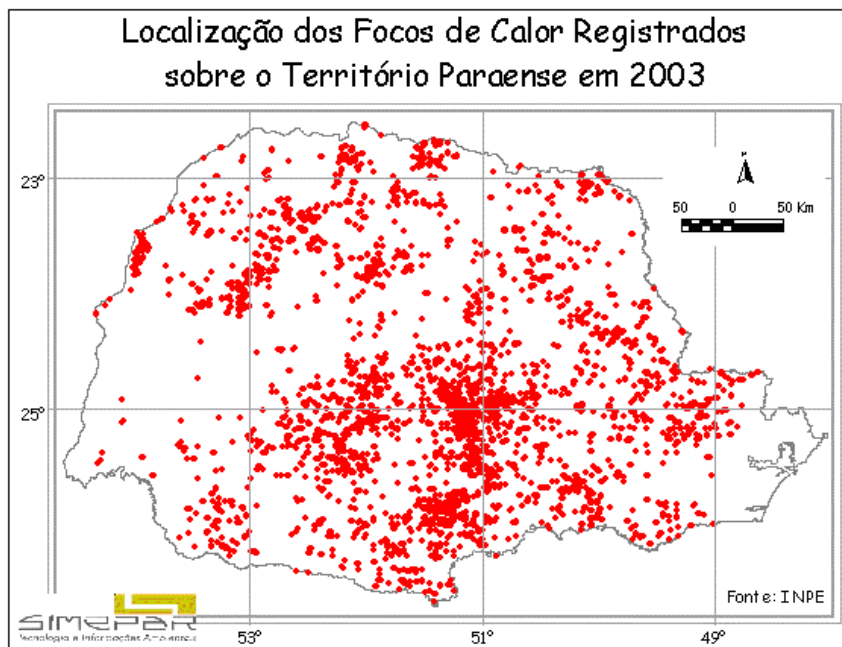


Figura 2: Focos de calor detectados no estado do Paraná em 2003

Figure 2: Hot spots detected in Paraná state in 2003

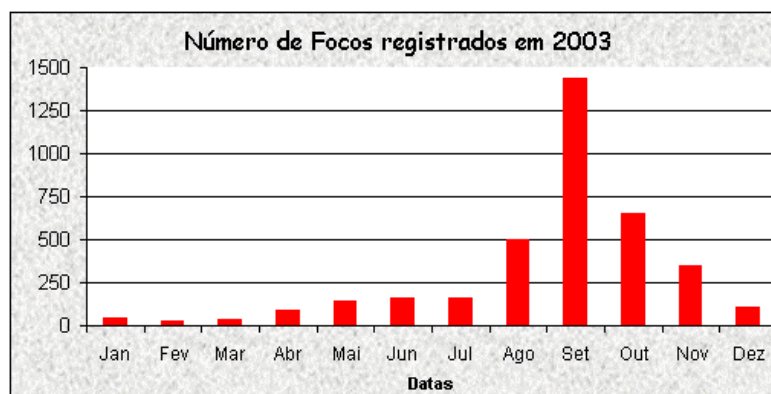


Figura 3: Número de focos de calor detectados no estado do Paraná em 2003

Figure 3: Number of hot spots detected in Paraná state in 2003

Para realizar a comparação foram selecionadas datas que apresentaram mais de 80 focos e aproximadamente 50% do número de focos de calor ocorridos no ano de 2003 (ver Tabela 2). Para estas datas o Índice Monte Alegre foi espacializado juntamente com os focos de calor. Verificou-se que 52% dos focos

detectados apresentaram-se na classe de risco extremo e 46,4% na classe de risco elevado. Somente 1,5% dos focos ocorrem sobre áreas de risco moderado, enquanto que o número de focos detectados nas classes de risco baixo e nulo foi de zero (tabela 3).

Tabela 2: Eventos extremos na detecção de focos de calor

Table 2: *Hot spots extreme events*

Data	Número de Focos
23/09/2003	329
22/09/2003	257
17/10/2003	228
19/09/2003	162
06/09/2003	159
21/08/2003	121
11/11/2003	119
02/09/2003	93
18/09/2003	89
20/08/2003	82

Tabela 3: Número de focos de calor detectados para cada uma das classes de risco do Índice Monte Alegre para os eventos extremos de 2003

Table 3: *Number of hot spot detected over each of the Monte Alegre Index for the 2003 extreme events*

	Data	Focos	IMA Nulo	IMA Baixo	IMA Moderado	IMA Elevado	IMA Extremo
1	23/3/2003	329	0	0	0	94	235
2	22/3/2003	257	0	0	0	96	161
3	17/10/2003	228	0	0	7	219	2
4	19/9/2003	162	0	0	10	146	6
5	6/9/2003	159	0	0	0	3	156
6	21/8/2003	121	0	0	0	16	105
7	11/11/2003	119	0	0	0	63	56
8	2/9/2003	93	0	0	0	18	75
9	18/9/2003	89	0	0	8	80	1
10	20/8/2003	82	0	0	0	26	56
	<b>Total</b>	<b>1.639</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>25</b>	<b>761</b>	<b>853</b>
	<b>%</b>	<b>100</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1,5</b>	<b>46,4</b>	<b>52,0</b>

A sobreposição do índice de risco nas datas que denotaram elevado número de focos de calor detectados permite analisar-se o comportamento do índice de risco frente à situação de elevada probabilidade de ocorrência de incêndio (Figuras 4 e 5). Cabe analisar-se também o comportamento do índice em momentos cujo número de focos seja nulo. Momentos estes, em cujos índices monitorados devem indicar baixa ou até mesmo a nula possibilidade de ocorrência de incêndio, exceto na presença de nuvens, que dificultam a detecção de focos de calor via satélite.

## CONCLUSÕES

O Índice Monte Alegre demonstrou-se sensível para o estado do Paraná, quando realizada comparação com focos de calor detectados através de imagens NOAA/AVHRR. A comparação demonstrou existir uma forte relação entre o Índice Monte Alegre e focos de calor. Isto indica a sensibilidade somente das variáveis meteorológicas a locais e eventos de possíveis incêndios. No entanto, iniciativas que contemplem a inserção de outras variáveis ao Índice Monte Alegre, como por exemplo,

topografia, material combustível, temperatura, dentre outras, devem ser incentivadas para aumentar ainda mais a robustez do referido índice. Demonstra-se necessário um melhor refinamento/adaptação do Índice Monte Alegre para o Paraná, uma vez que o mesmo demonstra-se relativamente elevado ao longo de todo o ano.

## REFERÊNCIAS

- ANDREWS, P. L.; BRADSHAW, L. S. FIRES: Fire Information Retrieval and Evaluation System - a Program for Fire Danger Rating Analysis. United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, **General Technical Report INT-GTR-367**. 1997.
- ARINO, O.; MELINOLTE, L.; Calabresi, G. Fire, cloud, land, water: the Ionia AVHRR. **CD-Browser of ESRIN**. EOQ 41, ESA, ESTEC, Noordwijk. 1993.
- Batista, A. C.; Oliveira, D. S.; Soares, R. V. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná. FUPEF, **Série Técnica** n. 02/02. 2002.
- Justice, C.O.; Kendall, J.D.; Dowty, P.R.; Sholes, R.J. Satellite remote sensing of fires during the SAFARI campaign using NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer data. **Journal of Geophysical Research**, 101:22.851-23.863. 1996.
- Kennedy, P. J.; Belward, A. S.; Gregoire, J. M. An improved approach to fire monitoring in West Africa using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, p. 2235-2255. 1993.
- LEE, B.S. Fighting wildland fire with technology. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, **Northern Forestry Centre**, Edmonton, Alberta. 14 p. 2001.
- Minko, N. P.; Abushenko, N. A.; Koshelev, V. V. Forest fire detection in East Siberia forests using AVHRR/NOAA data. **SPIE Proceedings**. p. 192-200. 1998.
- Randriambelo, T.; Baldy, S.; Bessafi, M.; Petit, M.; Despinoy, M. An improved detection and characterization of active fires and smoke plumes in south-eastern Africa and Madagascar. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, p. 2623-2638. 1998.
- SOARES, R. V. Desempenho da fórmula de Monte Alegre: o índice brasileiro de perigo de incêndios florestais. **Revista Cerne**, v.4, n.1, p.87-98. 1998.
- SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil**. Turrialba, Costa Rica, CATIE/IICA. Dissertação de Mestrado. 1972.

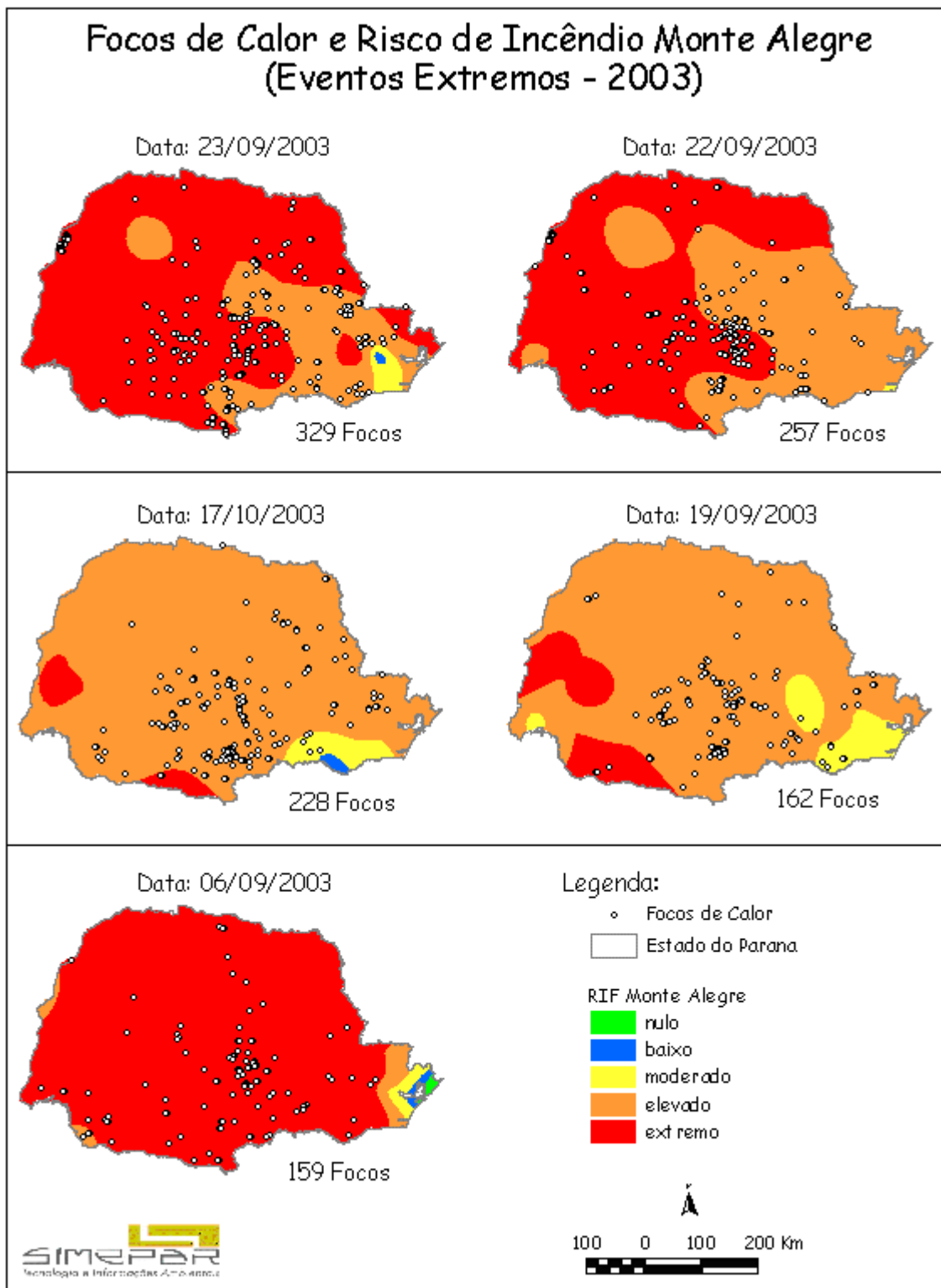


Figura 4: Focos de calor detectados no estado do Paraná sobrepostos ao Índice Monte Alegre  
Figure 4: Hot spots detected in Paraná state combined with Monte Alegre Index

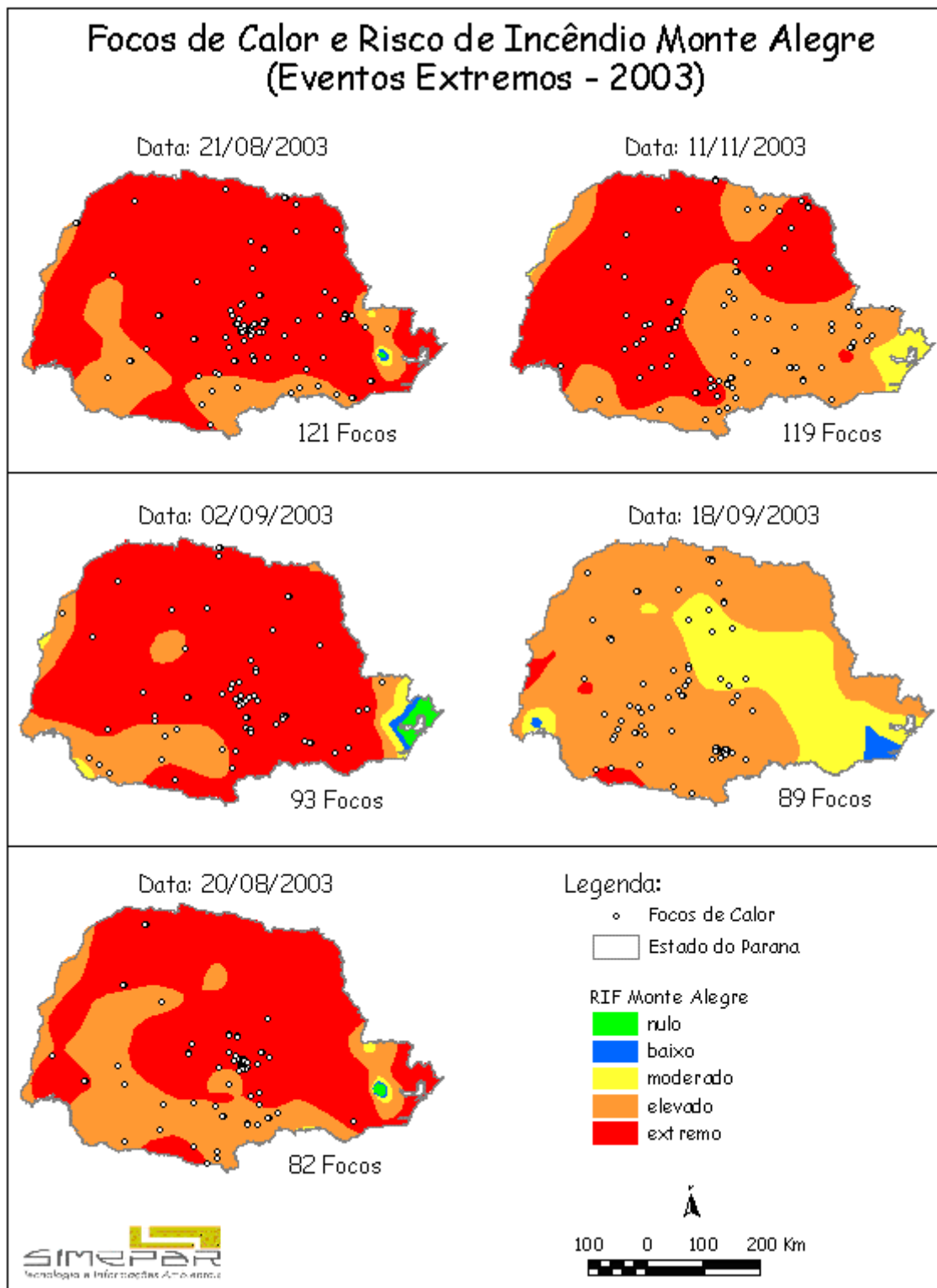


Figura 5: Focos de calor detectados no estado do Paraná sobrepostos ao Índice Monte Alegre  
 Figure 5: Hot spots detected in Paraná state combined with Monte Alegre Index