

DETERMINAÇÃO DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES SUSCEPTÍVEIS A OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS, UTILIZANDO RESULTADOS DE MODELO DE PNT MBAR E DADOS DO RADIÔMETRO AVHRR

Ricardo Raposo dos Santos¹, Reinaldo Silveira², José Ricardo de Almeida França³, Cláudio Freitas Neves⁴

RESUMO

Motivado pelos efeitos nocivos à saúde e pelos prejuízos consideráveis causados à sociedade, foi desenvolvido o sistema de monitoramento de queimadas. Esse sistema utiliza os dados do AVHRR e do Modelo Brasileiro de Alta Resolução (MBAR), a fim de obter a identificação dos possíveis pontos de queimadas e gerar o índice meteorológico de alerta a queimadas (IMAQ). O índice traz informações, da susceptibilidade de ocorrência de incêndio em uma determinada área.

ABSTRACT

A methodology for building up the fire index alert has been developed with the goal of helping a govern initiative for preventing known side effects of burning to human being as well as to live in general. The method uses data from NOAA AVHRR sensor and from MBAR NWP model, such that a first diagnostic of fire points is performed followed by an evaluation of meteorological conditions and further existence of fire on a given grid model point. This consists in a Fire Alert Index and the results for here shown good potential for the combined methodology.

Palavras-chave: IMAQ, MBAR, queimadas.

INTRODUÇÃO

Face às necessidades de planejamento governamental e uso da sociedade em geral, propõe-se um método para auxiliar o monitoramento das queimadas. Para esse propósito, elaborou-se um índice que informe sobre a susceptibilidade de ocorrência de incêndio em uma determinada área, levando em consideração a contribuição dos parâmetros meteorológicos para o fenômeno fogo. Este índice é gerado utilizando os dados dos cinco canais do radiômetro Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) do satélite NOAA-12 e os parâmetros meteorológicos do modelo numérico de previsão do tempo (PNT) MBAR, que possuem alguma relação com o fenômeno.

^{1,2} INMET, Eixo Monumental Via S1 Sudoeste CEP 70680-900, Brasília; DF; Brasil Tel (61) 3343-1779; rraposo@inmet.gov.br, rsilve@inmet.gov.br; ³ UFRJ, Depto de Meteorologia; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21949-900; Rio de Janeiro; RJ; Brasil; Tel (21) 2280-0333; jricardo@acd.ufrj.br; ⁴ UFRJ, Depto de Engenharia Oceânica; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21945-970; RJ; Brasil; Tel (21) 2562-8731; neves@peno.coppe.ufrj.br.

DADOS E MÉTODO

Para obtenção do índice IMAQ, são utilizados os dados de satélite e os dados do MBAR. Os dados do MBAR são a temperatura do ar e do solo, umidade relativa, cobertura de nuvens e a chuva acumulada. Os dados de satélites são provenientes da estação recepção dos dados de satélites de órbita polar localizada na latitude 47°55'29'' S e longitude 15°47'24'' W do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O método divide-se em duas etapas, diagnóstica e avaliação temporal dos pontos identificados como focos de calor.

Para o diagnóstico adota-se o método baseado na análise multiespectral dos pixels. Este método é o de “testes com limites” do algoritmo desenvolvido por França et al. (1995) adicionado do teste que utiliza o albedo do canal 2 do AVHRR (veja tabela 1).

Tabela 1: Tabela com os testes utilizados para a identificação dos focos de calor a partir dos dados do AVHRR (NOAA-12).

Testes	Descrição
T_3 (temperatura de brilho do canal 3) ≥ 320 K	Indica que um pixel é supostamente um pixel de incêndio
T_4 (temperatura de brilho do canal4) ≥ 287 K	Elimina problemas inerentes à forte refletividade causada pelas nuvens, que podem causar saturação no canal 3
Δt_{34} (diferença da temperatura de brilho do canal 3 menos a do canal 4) ≥ 15 K	Usado para evitar confusão entre os pixels de incêndio com os de superfícies quentes
$0 \leq \Delta t_{45}$ (diferença da temperatura de brilho do canal 4 menos a do canal 5) ≤ 5 K	Em conjunto com todos os outros testes permite uma separação das diferentes superfícies
A_1 (radiância no canal 1) ≤ 9 %	Em conjunto com os outros testes, permite filtrar os sinais causados pela névoa seca ou pelos aerossóis
$0 \leq A_2$ (radiância no canal 2) ≤ 16 K	Permite eliminar áreas associadas com brilho do sol

Para avaliação temporal dos focos de calor inicialmente identificados pelo satélite, foi idealizado um modelo baseado na evolução temporal dos parâmetros meteorológicos do MBAR. Foram eleitos parâmetros meteorológicos que possuíssem alguma relação com o fenômeno queimada (Raposo, 2004). A distribuição de cada parâmetro foi analisada e através de uma análise exploratória estatística foram estabelecidos os limites conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Limites dos parâmetros meteorológicos após o ajuste para o risco de queimadas.

Critérios	Parâmetros	Limites
1	Temperatura do ar	$T_a > 35$ °C
2	umidade relativa do ar	UR < 50 %
3	chuva acumulada em 6 horas	CH < 5 mm
4	cobertura de nuvens baixas	CN < 15 %
5	temperatura do solo	$T_s > 37.5$ °C

^{1,2} INMET, Eixo Monumental Via S1 Sudoeste CEP 70680-900, Brasília; DF; Brasil Tel (61) 3343-1779; rraposo@inmet.gov.br, rsilve@inmet.gov.br; ³ UFRJ, Depto de Meteorologia; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21949-900; Rio de Janeiro; RJ; Brasil; Tel (21) 2280-0333; jricardo@acd.ufrj.br; ⁴ UFRJ, Depto de Engenharia Oceânica; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21945-970; RJ; Brasil; Tel (21) 2562-8731; neves@peno.coppe.ufrj.br.

Cada critério segue uma regra binária no IMAQ (0 não contribui e 1 contribui). Onde cada um desses critérios representa 1/5 do índice (IMAQ). A Equação 1 descreve os valores do IMAQ para cada condição satisfeita. Caso todos sejam satisfeitos, o IMAQ assume 1,

$$IMAQ = \begin{cases} 0 & \text{se } nc = 0 \\ 0.20 & \text{se } nc = 1 \\ 0.40 & \text{se } nc = 2 \\ 0.60 & \text{se } nc = 3 \\ 0.80 & \text{se } nc = 4 \\ 1 & \text{se } nc = 5 \end{cases} \quad (1)$$

onde nc o número de condições satisfeitas.

Vale ressaltar que em um processo de decisão, o IMAQ não deve ser entendido como um indicativo da intensidade do foco de calor, mas sim como um quantitativo da contribuição dos parâmetros individuais.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para aplicar a metodologia do sistema de queimadas, foi escolhido, neste trabalho, um evento de incêndio que aconteceu na Floresta Nacional (FLONA) de Ipanema no dia 30 de setembro de 2003 e que se estendeu até o dia 01 de outubro.

A floresta se estende em 5069,73 ha ao sudeste do Estado de São Paulo, a 125 km da capital, no município de Ipero, entre as latitudes sul de 23°25' e 23°27' e as longitudes oeste 47°35' e 47°40', com altitudes entre 550 e 971 metros. A área atualmente coberta por vegetação natural é de 3393,06 ha, entre várzea, capoeira, cerrado e mata, sendo que a última ocupa 1388 ha, sobre o Morro de Aragoiaba.

O incêndio ocorrido na FLONA de Ipanema que começou no dia 30 de setembro de 2003 por volta das 10h, queimou uma área equivalente a 200 hectares, incluindo bosques com árvores frondosas e trechos de mato rasteiro destinados a um projeto de recomposição florestal. As chamadas só foram consideradas debeladas pelos bombeiros e pela brigada de combate a incêndios do IBAMA, no dia 01 de outubro como relatado pelos noticiários.

No dia 30 de setembro o sistema de queimadas não identificou nenhum foco de calor. No entanto, no dia 01 de outubro, o sistema identificou através dos dados do satélite NOAA 12 utilizando o algoritmo desenvolvido por França et al, 1995 (adaptado para este trabalho), quatro focos de calor dentro da área da FLONA de Ipanema, os quais estavam possivelmente relacionados

^{1,2} INMET, Eixo Monumental Via S1 Sudoeste CEP 70680-900, Brasília; DF; Brasil Tel (61) 3343-1779; rraposo@inmet.gov.br, rsilve@inmet.gov.br; ³ UFRJ, Depto de Meteorologia; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21949-900; Rio de Janeiro; RJ; Brasil; Tel (21) 2280-0333; jricardo@acd.ufrj.br; ⁴ UFRJ, Depto de Engenharia Oceânica; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21945-970; RJ; Brasil; Tel (21) 2562-8731; neves@peno.coppe.ufrj.br.

com os incêndios que ocorreram nesta área. Tomando dados de outros sistemas de identificação de focos de calor (Tabela 3), verificou-se que para o dia 30 de setembro foram identificados três focos de calor na FLONA utilizando dados do satélite NOAA-16, enquanto que os outros sistemas não identificaram. Para o dia 01 de outubro foi identificado com dados do satélite MODIS-01 dois focos. Os focos identificados no dia 01 de outubro pelos satélites NOAA-12 e MODIS-01 concordaram com a posição da localização do foco, posicionando-os dentro da área da Floresta de Ipanema. A detecção com os satélites, apresentou diferenças em relação ao reconhecimento dos focos e até mesmo em relação ao número. Isto revela que a utilização de apenas um satélite para a identificação do fogo, pode não ser suficientemente eficiente. Abaixo segue uma tabela com os números de focos de calor, satélite usado para identificação e a hora da passagem, para a área da FLONA nos dias do incêndio.

Tabela 3: Número de focos de calor identificados pelos satélites NOAA 12, 16 e MODIS-01, para os dias 30 de setembro e 01 de outubro de 2003.

SATÉLITE	NÚMERO DE FOCOS / HORA DA PASSAGEM	
	30 - SET – 2003	01 – OUT - 2003
NOAA- 12 / INMET	-- / 20:43h	4 / 20:30h
NOAA –12 / INPE	-- / 18:57h	-- / 20:14h
NOAA-16 / INPE	3 / 17:08h	-- / 16:57h
MODIS-01 / INPE	-- / 13:13h	2 / 16:40h

Consultando os parâmetros meteorológicos do modelo MBAR, notou-se que para o dia 30 de setembro de 2003, a temperatura do ar variou entre 13°C a 24°C e a do solo entre 13 a 27°C durante todo o dia, e no dia 01 de outubro a temperatura do ar variou entre 12 a 25°C e a temperatura do solo entre 12 a 28°C. Comparando estes valores de temperatura com os limites do critério adotado para o IMAQ, conforme Tabela 2, nota-se que nestes dias, os parâmetros temperatura do ar e temperatura do solo, não foram determinantes para o incêndio na FLONA de Ipanema.

Interpretando-se os valores dos parâmetros meteorológicos escritos na Tabela 4, para o dia 30 de setembro observa-se que a porcentagem de cobertura de nuvem, varia entre 0% a 20%, indicando céu claro no período da manhã, com a porcentagem de cobertura variando entre 10 a 20% no início da tarde e o restante do dia sem nenhuma cobertura. Observa-se também que o valor da cobertura de nuvens, na maior parte do período da queimada, satisfaz o critério para indicação de queimada. De acordo com este diagnóstico os valores da cobertura de nuvem sugerem uma situação favorável para o incêndio/queimada. No dia 01, a cobertura de nuvem teve os seus valores iguais a 0%, entre 20-

^{1,2} INMET, Eixo Monumental Via S1 Sudoeste CEP 70680-900, Brasília; DF; Brasil Tel (61) 3343-1779; rraposo@inmet.gov.br, rsilve@inmet.gov.br; ³ UFRJ, Depto de Meteorologia; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21949-900; Rio de Janeiro; RJ; Brasil; Tel (21) 2280-0333; jricardo@acd.ufrj.br; ⁴ UFRJ, Depto de Engenharia Oceânica; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21945-970; RJ; Brasil; Tel (21) 2562-8731; neves@peno.coppe.ufrj.br.

40% e 0%, representando respectivamente os períodos da manhã, próximo ao meio dia, e tarde do dia. Neste dia, as condições do IMAQ assemelharam-se a situação do dia anterior.

A chuva acumulada, para o período de 24 horas do dia 30 de setembro e 01 de outubro foi nula, sugerindo uma situação favorável ao incêndio/queimada. A chuva contribui para o decréscimo do índice de alerta a queimadas, pois ela aumenta a umidade do solo e do combustível, recuperando o conteúdo de água perdida pela evaporação e evapotranspiração. Portanto, caso o acumulado de chuva exceder a quantidade pré determinada para condição favorável (5 mm/6h) o índice de alerta será menor do que o esperado no caso de ausência de chuva, ou chuva inferior a 5mm/6h.

A umidade relativa em conjunto com a temperatura do ar, também indica perda de água do material comburente. Os valores da umidade relativa tanto para o dia 30 de setembro, como para o dia 01 de outubro estiveram entre os valores de 50 a 80% durante toda a duração do dia. Ainda vale dizer que tanto no dia 30 de setembro como no dia 01 de outubro, de acordo com os valores diagnosticados, a umidade relativa não foi determinante para a propagação do incêndio.

Finalmente analisando o comportamento do IMAQ nos dias 30 de setembro e 01 de outubro, verificou-se que o mesmo variou de 20 a 40%, indicando que 20 a 40% dos parâmetros meteorológicos determinaram a propagação do incêndio na FLONA. Como o IMAQ é uma combinação de parâmetros meteorológicos que possuem alguma relação com o fenômeno fogo, destes parâmetros a chuva foi certamente o fator decisivo, já que por vários dias seguidos não houve chuva no local, conforme a figura 1. Observa-se nesta figura a distribuição heterogênea de chuva na região, estando a FLONA localizada na área sem chuva no estado de São Paulo.

Tabela 4: Valores dos parâmetros meteorológicos para 48 horas de previsão, e análise temporal do IMAQ. As cores nos tons de cinza claro, cinza escuro e branco, dentro da tabela, representam o período da manhã, o período da tarde e se o critério foi satisfeito, respectivamente.

PARÂMETROS	VALIDADE EM HORAS DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS DO MBAR PARA A FLORESTA NACIONAL DE IPANEMA								
	DATA E HORA INICIAL DO MODELO: 30/09/2003 AS 00 UTC								
	30 de setembro				01 de Outubro				
HORAS	00	06	12	18	24	30	36	42	48
Chuva (mm)	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Umidade (%)	70	80	70	50	80	80	60	50	80
Temp. do Solo (°C)	15	13	19	24-27	13-15	12-14	20	25-28	13
Cob. de Nuvens (%)	0	0	20	0	0	20-50	0	0	0
Temp do Ar (°C)	15	13	17	23-24	13-15	12-14	18-19	23-25	14-16
IMAQ	25	40	20	40	40	20-40	40	40	40

Critério satisfeito

Período da manhã

Período da tarde

^{1,2} INMET, Eixo Monumental Via S1 Sudoeste CEP 70680-900, Brasília; DF; Brasil Tel (61) 3343-1779; rraposo@inmet.gov.br, rsilve@inmet.gov.br; ³ UFRJ, Depto de Meteorologia; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21949-900; Rio de Janeiro; RJ; Brasil; Tel (21) 2280-0333; jricardo@acd.ufrj.br; ⁴ UFRJ, Depto de Engenharia Oceânica; Ilha do Fundão; Cidade Universitária; CEP 21945-970; RJ; Brasil; Tel (21) 2562-8731; neves@peno.coppe.ufrj.br.

Enquanto a aplicação a FLONA mostra a indicação para o uso da técnica, estamos aprimorando o método para inclusão de novos parâmetros, bem como inserir um índice de vegetação como indicador de material comburente disponível na superfície do solo e de estresse hídrico (Schroeder, 2001).

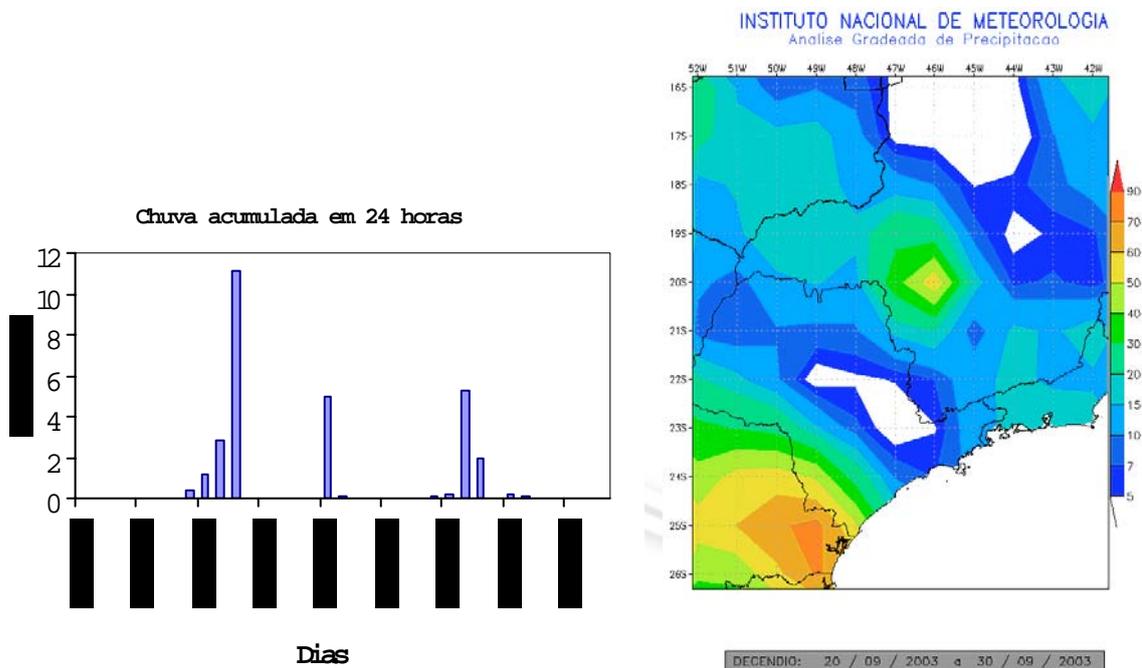


Figura 1: dados diários de chuva para a região do FLONA e distribuição espacial da chuva no período.

REFERÊNCIAS

Franca, J.R, J.M. Brustet, J. Fontan, Multispectral remote sensing of biomass burning in West Africa, *J. Atmos. Chem.*, v. 22, pp. 81-110, 1995.

Raposo, R., *Determinação de um índice de alerta de queimadas utilizando o modelo meteorológico MBAR e dados AVHRR*. Tese de MSc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

Schroeder, W., *Identificação de padrões climatológicos que contribuem para a ocorrência de incêndios em áreas de cerrado usando dados AVHRR/NOAA-14*. Tese de MSc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.