



## Modificação do algoritmo de focos de queima AVHRR do INPE e sua avaliação com um método dinâmico

Alberto W. Setzer<sup>1</sup>  
Pedro Augusto Lagden de Souza<sup>1</sup>  
Fabiano Morelli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
C.Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
queimadas@inpe.br

**Abstract.** The multi-satellite operational INPE system that monitors vegetation fires is constantly improving its existing products and introducing new ones. The original AVHRR/NOAA algorithm was replaced in 2012, increasing the number of fire pixels detected, when compared to the previous method. This paper summarizes the new method and a novel procedure developed and tested to validate the fire detections. Fire pixels were automatically verified in relation to detections made by the ten other satellites used in the INPE monitoring considering a distance radius of 10 km, and also to fire scars in Landsat/TM-5 scenes up to 18 days after the detection date. The increase in the detections was about 29% and 370% for the late afternoon and early morning overpasses, respectively, resulting in an overall increase of ~31%. 80% of the cases were correctly validated and 12.5% were eliminated as image noise; 7.5% had no means to be verified due to cloud cover or missing TM scenes. The new method uses varying thresholds in channels 1, 2 in the image according to the pixel's solar reflection and solar azimuth angles. The method should become the basis for the algorithms used with all satellites in INPE's fire monitoring.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, vegetation fires, sensoriamento remoto, processamento de imagens, queimadas e incêndios.

### 1. Introdução

A detecção dos focos ativos de queima de vegetação em imagens de satélites é realizada no INPE (2012) desde meados da década de 1980. Devido à sua ampla e crescente utilização por diferentes segmentos da sociedade e com as novas possibilidades tecnológicas, são introduzidos aprimoramentos na qualidade e no processamento dos dados gerados.

O algoritmo do INPE para identificação de focos nas imagens AVHRR dos satélites da série NOAA em uso até o final de 2012 foi essencialmente o mesmo há 25 anos, no qual a análise dos píxeis era feita a partir dos seus valores naturais, ou seja, “DNs” (“Digital Number”, ou “Digital Count”), na escala com 10 bits de 0 a 1023, sem efetuar sua conversão para medidas de reflectância e temperatura – ver, por exemplo, Setzer et al, (1992). Os DN dos limites foram sempre obtidos empiricamente, analisando-se centenas de casos evidentes de queima de vegetação nas imagens; apenas ajustes anuais nos limiares de filtragem, também obtidos empiricamente, ocorreram para compensar a degradação dos sensores; um exemplo destes procedimentos encontra-se em Setzer e Malingreau (1996), e aspectos do controle de qualidade em De Souza et al (2004).

A opção pelos DN decorreu do fato de a maioria dos píxeis com fogo ativo apresentar saturação (com valor nominal de ~46°C) no canal 3, que cobre a faixa de 3.6 µm a 3.9 µm, e na qual a detecção é feita, pois coincide com o máximo de energia emitida pela matéria orgânica em combustão. Nesta condição de saturação, não faz sentido físico indicar a temperatura correspondente, e além disso, vários sensores AVHRR indicavam erroneamente valores DN acima da saturação como sendo mais frios que o limite máximo (Setzer e Veerstrate (1994). Outros fatores também desqualificam o uso de temperaturas para píxeis com matéria em combustão, como p.ex.: o fato de apenas uma fração mínima de um píxel com altas temperaturas ser suficiente para saturá-lo, e; as estações de recepção de satélites, ao converter os valores de DN para medidas físicas, automaticamente eliminarem os valores saturados das imagens, impedindo a detecção dos focos nestes píxeis.

Por outro lado, ao longo dos anos o INPE passou a detectar focos de queima também nas imagens dos satélites de órbita polar AQUA, TERRA e TRMM, e geoestacionária GOES e MSG, e novos sensores como o VIIRS do satélite NPP lançado em setembro/2011 tem saturação de  $\sim 370^{\circ}\text{C}$ . Neste contexto, para manter o mesmo padrão das faixas de seleção dos píxeis com fogo nos canais de 3,5 a 4,2  $\mu\text{m}$  dos vários sensores, e para unificar os algoritmos de detecção do INPE em um algoritmo universal, optou-se pelo uso de temperaturas nas bandas termais de detecção dos focos, e de reflectância nas bandas refletivas que são usadas para eliminar falsas detecções. Nesta nova configuração do algoritmo, incluiu-se também um cálculo mais refinado para assegurar a qualidade dos dados, considerando a geometria sensor-píxel-sol.

Neste trabalho, apresenta-se um método de comparação dinâmica entre dois conjuntos de dados e seus resultados, analisando as detecções de focos de queima de vegetação detectados nas imagens AVHRR/NOAA aplicando o algoritmo original que foi usado até o final de 2011, e a nova versão recém-introduzida. Esse tipo de análise assegura a continuidade da qualidade dos dados do monitoramento de focos e permite quantificar as diferenças resultantes das alterações. Apenas o efeito da mudança das equações de filtro espacial em função da geometria da imagem é apresentado a seguir, sem abordar a conversão para unidades de temperatura e reflectância.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Critério antigo de filtragem de focos.

A seleção de focos anterior aceitava um foco como sendo de queimada/incêndio, se em uma imagem noturna seu píxel apresentasse:

- DN no canal 3 (3,55 a 3,93  $\mu\text{m}$ ) entre 0 e 450

Nas imagens diurnas, se o píxel tivesse:

- DN no canal 1 (0,58 a 0,68  $\mu\text{m}$ ) entre 0 e 266;
- DN no canal 2 (0,72 a 1,10  $\mu\text{m}$ ) entre 16 e 195;
- DN no canal 3 (3,55 a 3,93  $\mu\text{m}$ ) entre 0 e 450;
- DN no canal 4 (10,3 a 11,3  $\mu\text{m}$ ) entre 0 e 570;

Adicionalmente, nas imagens diurnas, para as colunas 51 a 351 e 1697 a 1997 da imagem:

- DN no canal 1 apenas entre 0 e 168;
- DN no canal 2 apenas entre 16 e 143;

E para as colunas 21 a 50 e 1997 a 2027 da imagem:

- DN no canal 1 apenas entre 0 e 119;
- DN no canal 2 apenas entre 16 e 91;

E ainda, eliminavam-se detecções ocorridas na máscara de oceanos, e aquelas com localização geográfica ruim devido à distorção da imagem nas suas bordas, nas colunas de 0 a 20, e de 2028 a 2047.

### 2.2. Critério novo de filtragem de focos.

A partir de 2012 o nível de corte no canal 3 (3,55 a 3,93  $\mu\text{m}$ ) AVHRR passou a variar com a condição de cada píxel em função da sua posição na imagem conforme o “Ângulo Solar Zenital” (SZA) e o “Ângulo de Reflexão Solar”(SRA). As equações utilizadas passaram a ser, para  $\text{SZA} < 90^{\circ}$  (com iluminação solar) e  $\text{SRA} > 2^{\circ}$ :

- $\text{DN}_{\text{corte\_canal\_1}} = 266 * (1.027 - (5/\text{absolute}(\text{SRA})))$
- $\text{DN}_{\text{corte\_canal\_2}} = 16 + (195 - 16) * (1.027 - (5/\text{absolute}(\text{SRA})))$
- $\text{DN}_{\text{corte\_canal\_3\_dia}} = 550 * (1.027 - (5/\text{absolute}(\text{SRA})))$
- $\text{DN}_{\text{corte\_canal\_3\_noite}} = 700$  (com  $\text{SZA} > 90^{\circ}$ )
- $\text{DN}_{\text{corte\_canal\_4}} = 570$

Os limites de corte dos canais 1 e 2 permaneceram os mesmos, porém, na nova versão, o benefício do uso do SZA e do SRA permitiu um limite maior de corte do canal 3 – ou seja, uma temperatura mais baixa na escala invertida de DN's. Os novos limites do canal 3 foram também extensamente analisados empiricamente em casos reais de detecções de fogo nas imagens.

### 2.3. Fluxo de processamento

Foram utilizadas imagens NOAA-15 recebidas pelas estações do INPE durante o mês de setembro de 2011, todos os focos ativos disponíveis no Banco de Dados de Queimadas do INPE, detectados pelos outros dez satélites do monitoramento, disponíveis em <http://www.dpi.inpe.br/proarco> para o mesmo período, e 160 imagens TM/Landsat 5 com resolução de 30 metros existentes em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Todas as ocorrências de focos detectados foram inseridas em um banco de dados geográficos baseado em POSTGESQL para qualificar os resultados, conforme apresentado na Figura 1.

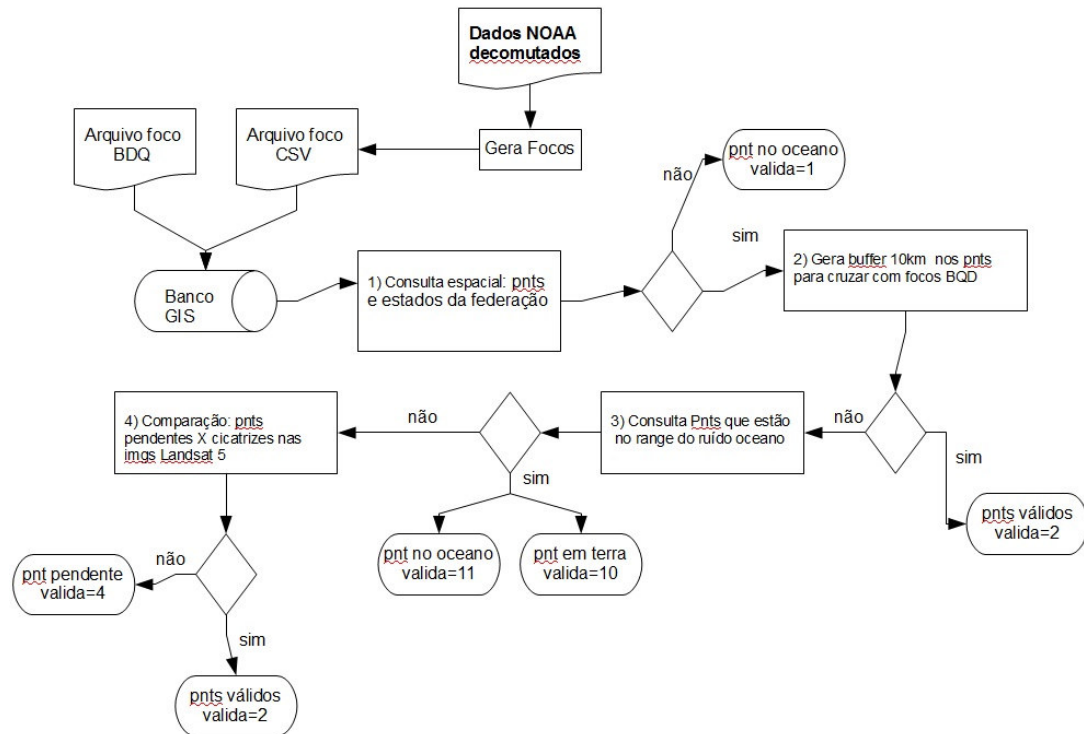


Figura 1. Fluxograma da metodologia usada no trabalho.

### 2.2. Descrições e códigos de validação.

Após a inserção dos pontos detectados pelo novo método, e tendo estes o código de “valida=0”, o método para validação foi feito seguindo a seguinte sequência:

a) Consulta espacial do estado da federação onde ocorreu o foco, atualizando o atributo de estado de cada ponto. Não pertencendo a nenhum estado, foi considerado como ruído, por localizar-se no oceano. Estes pontos receberam código “valida=11”.

b) Criação de um buffer de 10 km de raio no entorno de cada foco valida=0, para o qual verifica-se a pertinência de todos os focos ativos disponíveis no Banco de Dados de Queimadas do dia anterior, atual e posterior à data de cada ponto avaliado. Os buffers que incluem focos ativos do BDQ permitem considerar válidos os focos, que então passam para código “valida=2”.

c) Filtragem dos focos com código valida=0 a partir do ponto valida=1. Cria-se uma faixa de dez linhas acima e abaixo dos pontos valida=1, e assim os píxeis em terra que estão localizados nesta faixa passam a ser considerados ruídos e passam para “valida=10” e os pontos do que estão localizados no oceano passam para “valida=11”.

d) A última fase da validação utiliza imagens de média resolução (30 metros) TM/Landsat 5. Os pontos ainda pendentes, ou seja, com código valida=0, são confrontados com as imagens com até 18 dias posteriores à data da ocorrência. Nas imagens em que foram visualizados indícios de cicatrizes de queimadas em uma distância de até 10 km do ponto em análise, o mesmo foi validado, passando ao código “valida=2”. Os pontos que não foram validados por este método, passam para “valida=4”. Assim, as ocorrências no final do método de validação assumem códigos indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Legenda de códigos dos pontos em estudo.

Código do campo “valida”	Descrição
0	pontos pendentes, não válidados
2	focos válidos
4	focos pendentes, porém verificados em Imagens Landsat
10	Linhas de ruído em terra
11	Pontos sobre oceano

### 3. Resultados e Discussão

Foram processadas com a nova metodologia de detecção de focos 56 imagens NOAA-15 de Julho de 2011, das quais 14 da madrugada e 42 vespertinas, aproximadamente entre os horários de 06:00 a 09:00hs GMT e 18:00 a 21:00hs GMT, respectivamente.

Com estes processamentos das imagens NOAA, foram identificadas 7414 ocorrências de focos nas regiões imageadas, dos quais 5925 (~80%) foram validados. Em comparação com os 4523 focos ativos disponíveis no BDQ, no mesmo intervalo de tempo, verificou-se um aumento de ~31%.

Do mesmo total de 7414 ocorrências, 556 (~7,5%) não foram validadas pelas etapas do método proposto, e assim ficando como “pendentes”, sendo que 76 como valida=0 e 480 como valida=4.

As outras 933 ocorrências (~13%) foram ruídos, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Número de pontos (focos) detectados pelo novo método.

	Numero de pontos	porcentagem
pendente	556	~7,5%
válidos	5925	~80%
ruídos	933	~12,5%
Total	7414	~100%

Nas passagens da madrugada, com o novo método, foi constatado aumento no número de focos válidos de aproximadamente 370%, e nas vespertinas de aproximadamente 29%, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Número de pontos detectados pelo novo método.

	Nº de pontos MN com as 56 imagens	Nº de pontos BDQ com as 56 imagens	% a mais
Passagens madrugada	139	31	~370%
Passagens vespertinas	5786	4494	~29%
Total	5925	4523	~31%

Na validação com imagens as imagens Landsat-TM5 de média resolução, alguns pontos continuaram como pendentes por falta de imagens devido à alta cobertura de nuvens, ausência de imageamento ou não cobertura do satélite no período, ou por falta de indícios de cicatrizes no local da ocorrência.

Durante a identificação das linhas com focos no oceano, verificou-se que 34 ocorrências de pontos válidos estavam em até dez linhas acima e abaixo do ponto ruidoso do oceano, e que inicialmente foram considerados como ruído. Porém outra análise de validação com imagens de média resolução LANDSAT permitiu verificar que 27 destas ocorrências foram novamente validadas, 3 estavam encobertas por nuvens e 4 ficaram indefinidas pois não existiam imagens para esta data. Assim concluiu-se que para estes casos, não é relevante que estas ocorrência se incluam no teste do método de linhas de ruído de oceano.

A utilização de imagens Landsat no método de validação permitiu por meio de uma avaliação qualitativa, confirmar que a grande maioria das cicatrizes não se distanciam por mais de 10km de algum ponto, sendo assim, o tamanho do buffer no primeiro método pode ser considerado adequado para uma avaliação da nova metodologia. Outros trabalhos mais detalhados estão sendo realizados para quantificar os erros de deslocamento dos pontos em relação às cicatrizes.

#### 4. Conclusões

Em decorrência do uso de vários sensores de diferentes satélites além dos AVHRR/NOAAs, tornou-se necessário desenvolver um método genérico para a detecção de focos de queima de vegetação no sistema de monitoramento de queimadas/incêndios do INPE. Os resultados do novo método, no que se refere apenas à análise espacial das imagens, mostram que na comparação com o que era usado na DSA/INPE (“SIDFOC”), houve um aumento de aproximadamente 31% no número de ocorrências de focos AVHRR/NOAA válidos. Das 7414 ocorrências analisadas, 80% foram validadas como focos corretos, 7,5% como pendentes podendo ser validadas de alguma outra forma, e 12,5% foram classificados como ruídos.

A nova metodologia mostrou-se coerente nas ocorrências de focos válidos, e a técnica de validação por buffers, imagens de satélite de média resolução e com cortes de linhas de ruído, pode ser considerada um avanço da metodologia original de Setzer et. al (1992).

Com os resultados obtidos nas imagens NOAA-15, serão iniciados os testes deste novo método de detecção de focos ativos utilizando valores de reflectância e temperatura (ao invés de DN<sub>s</sub>) para as imagens AVHRR/NOAA e com outros sensores e satélites. Espera-se também criar uma nova base de dados de focos, com o reprocessamento dos anos anteriores, que será inserida automaticamente no portal de dados na internet, e que também serão distribuídos aos usuários que recebem arquivos de focos em tempo real.



### **Agradecimentos.**

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio do processo CNPq-AP #309765/2011-0.

### **Referências Bibliográficas**

DE SOUZA, P.A.L.; SETZER, A.W.; FREITAS, C.P.; MAURANO, L.E.; MORELLI, F.; SISMANOGLU, R.A. Controle de Qualidade nas Detecções Orbitais de Queimadas. In XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, PA. Anais, 5 págs., 2010. Disponível em <[http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/2010\\_DeSouza\\_etal\\_XVI\\_cbmet\\_Qualidade.pdf](http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/2010_DeSouza_etal_XVI_cbmet_Qualidade.pdf)>. Acesso em 18 nov.2012.

INPE. Sistema de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais por Satélite em Tempo Quase-Real. Disponível em <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em 18 nov.2012.

SETZER, A.; PEREIRA, M.C.; PEREIRA JR, A.C. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. **Climanálise**, 7(8):40-53, ago/1992. Disponível em <[http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/1992\\_Setzer\\_etal\\_Satelites\\_NOAA\\_Climanalise.pdf](http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/1992_Setzer_etal_Satelites_NOAA_Climanalise.pdf)>. Acesso em 18 nov.2012.

SETZER, A.W.; VERSTRAETE, M.M. Fire and glint in AVHRR's channel 3: a possible reason for the non-saturation mystery. **International Journal of Remote Sensing**, 15(3):711-718,1994. Disponível em <[http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/1994\\_Setzer\\_Verstraete\\_Fire\\_glint\\_IJRS.pdf](http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/1994_Setzer_Verstraete_Fire_glint_IJRS.pdf)>. Acesso em 18 nov.2012.

SETZER, A.W.; MALINGREAU, J.P. AVHRR monitoring of vegetation fires in the tropics: towards a global product. In **Biomass Burning and Global Change**, ed. J.S.Levine, 1996. Chap.3, MIT Press, Cambridge,Mass, p.48-81. Disponível em <[http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/1996\\_Setzer\\_Malingreau\\_AVHRR\\_Monitoring\\_GBB.pdf](http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/1996_Setzer_Malingreau_AVHRR_Monitoring_GBB.pdf)>. Acesso em 18 nov.2012.