

## Uso de cubos de dados de observação da Terra no mapeamento de áreas queimadas

Mateus de Souza Macul<sup>1</sup>, Wesley Campanharo<sup>1</sup>, Fabiano Morelli<sup>2</sup>, Gilberto Ribeiro de Queiroz<sup>1</sup>, Karine Reis Ferreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG)

<sup>2</sup>Divisão de Projeto Estratégico 4 - DIPE4

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal: 515, Av. dos Astronautas, 1758 Jardim da Granja - SP - Brasil

{mateus.macul,wesley.campanharo,fabiano.morelli,gilberto.queiroz,  
karine.ferreira}@inpe.br

**Abstract.** *Earth observation data cubes are multidimensional structures created from Analysis-Ready Data (ARD) of remote sensing images. This work presents the use of data cubes in the mapping of burnt area using the methodology of the product aq30m of the INPE's Queimadas Program. Tests were conducted in two different areas and at different scales in the Cerrado biome. The methodology was adapted to use the data cubes and the technologies developed by the Brazil Data Cube (BDC) project in R language. Subsequently, the results were compared with the original aq30m data and the advantages of using data cubes in burned area mapping were verified, enabling future improvements.*

**Resumo.** *Cubos de dados de observação da Terra são estruturas multidimensionais criadas a partir de dados prontos para análise (ARD - Analysis-Ready Data) de imagens de sensoriamento remoto. Este trabalho apresenta o uso de cubos de dados no mapeamento de área queimada utilizando a metodologia do produto aq30m do Programa Queimadas. Foram realizados testes em duas áreas distintas e em escalas diferentes no bioma Cerrado. A metodologia foi adaptada para utilizar os cubos de dados e as tecnologias desenvolvidas pelo projeto Brazil Data Cube (BDC) em linguagem R. Posteriormente, os resultados foram comparados com os dados originais aq30m e constatou-se as vantagens de utilizar cubos de dados no mapeamento de área queimada possibilitando futuros aprimoramentos.*

### Introdução

Em 2008, a Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura (FAO) indicou área queimada como uma Variável Climática Essencial (do inglês, *Essential Climate Variable: ECV*) (SESSA; DOLMAN, 2008). Com isso, o mapeamento de área queimada, como uma das classes de mapeamentos de uso e cobertura do solo, é considerado como essencial para que países e agências internacionais monitorem, implementem e relatem questões relacionadas às mudanças climáticas. Dessa forma, é importante que tais observações atendam a requisitos mínimos para permitir entender as causas das mudanças climáticas, analisar os impactos potenciais, avaliar as opções de adaptação e possibilitar a caracterização de eventos extremos. Portanto, o painel do Sistema de Observação do Clima Global (do inglês, *Global Climate Observation System: GCOS*) estabeleceu que dados de áreas queimadas sejam de 30 metros de resolução espacial, com 24 horas de resolução temporal e com erros de comissão e omissão menores do que 15% (GCOS, 2016).

O Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza o monitoramento de focos de queimadas por meio de dados orbitais desde 1994. Mais recentemente, em 2015, o programa passou a realizar o mapeamento de área queimada com 30 m de resolução, resultando no produto denominado aq30m (INPE, 2019). Esse mapeamento utiliza como insumo imagens do programa Landsat da USGS (*United States Geological Survey*), o que exigiria baixar cada imagem individualmente diretamente do servidor da USGS. O armazenamento e pré-processamento das imagens tem demandado cada vez mais recursos computacionais.

O projeto *Brazil Data Cube* (BDC) do INPE gera e disponibiliza dados prontos para análise (ARD – *Analysis-Ready Data*) e cubos de dados multidimensionais de imagens de sensores a bordo dos satélites MODIS, Landsat 8, Sentinel-2 e CBERS 4. A partir desses cubos de observação da Terra é possível gerar mapas e padrões de mudança de uso e cobertura do solo, utilizando técnicas de aprendizado de máquina e análise de séries temporais de imagens (FERREIRA et al., 2020).

Portanto, este trabalho tem como intuito avaliar o processo de melhoria do mapeamento de área queimada utilizado pelo Programa Queimadas do INPE, para superar os desafios tecnológicos na preparação e armazenamento dos dados orbitais e atender os requisitos internacionais da geração de dados de monitoramento de queimadas. Para isso, este estudo propõe testar o método de geração do produto aq30m utilizando os cubos de dados de imagens Landsat gerados pelo projeto BDC.

## **Metodologia**

O trabalho baseou-se na metodologia utilizada na produção do aq30m do Programa Queimadas, e a partir da sua análise implementar melhorias utilizando os dados e as ferramentas que o Projeto BDC propõe.

O método para produção do dado aq30m está descrito no trabalho realizado por MELCHIORI et al. (2014), BITTENCOURT et al. (2019), BITTENCOURT; MORELLI (2019) e BITTENCOURT et al. (2020). Em resumo, o processamento consiste em gerar polígonos de mudança de uso e cobertura que sejam possivelmente áreas queimadas a partir da diferença relativa de índices espectrais de imagens em tempos distintos (Figura 1).

A adaptação da metodologia do aq30m com os dados do BDC foi implementada em linguagem R (Figura 1), priorizando ferramentas e bibliotecas ligadas ao projeto e com capacidade de lidar com cubos de dados.

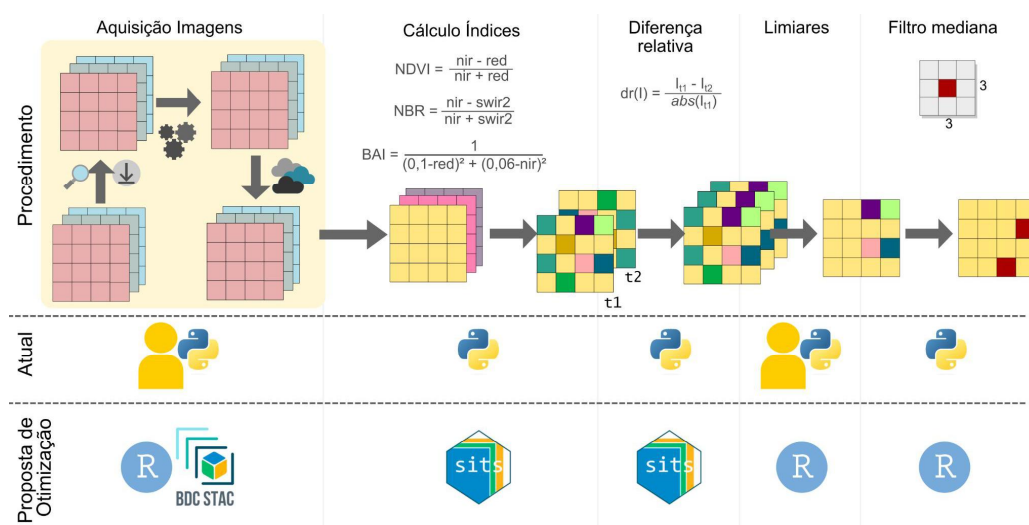


Figura 1 - Diagrama esquemático da metodologia.

Os dados utilizados são da coleção LC8\_SR-1 do BDC que consiste em imagens corrigidas para reflectância de superfície oriundos dos sensores a bordo do satélite Landsat 8. A etapa seguinte é o cálculo dos índices espectrais. Na metodologia do aq30m, os índices utilizados são NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NBR (*Normalized Burn Ratio*) e BAI (*Burn Area Index*). Os índices são descritos por ROUSE, J. W. et al. (1974), KEY; BENSON (2006) e CHUVIECO; MARTÍN; PALACIOS (2002). Os índices foram calculados para dois instantes no tempo separadamente: t1 e t2.

A próxima etapa foi calcular as imagens de diferença relativa (*dr*), conforme mostrado na Figura 1. Após o cálculo da diferença relativa das imagens, aplicou-se um filtro mediana com grade 3 x 3 pixels. O intuito desta etapa é suavizar os valores discrepantes dos pixels. Por fim, para extrair os polígonos de mudança de cobertura do solo representando possivelmente a área queimada, o produto aq30m utiliza uma combinação lógica de fatiamento das imagens. Os limiares para o fatiamento são calculados para cada cena empiricamente por especialistas do Programa Queimadas. As imagens fatiadas foram combinadas com as máscaras de nuvem para o t1 e t2 e este resultado recebe uma suavização para manter somente as áreas com 6 pixels ou mais, conforme mostrado na Figura 2.

```
m.dnbr <- d_nbr >= 0.5
m.dndvi <- d_ndvi_rast >= 0.2
m.t2bai <- t2_bai >= 20
m.t1t2 <- (t1_nbr-t2_nbr) > 0.1
aq30m <- m.dnbr*m.dndvi*m.t2bai*m.t1t2*t1_fmask_rast*t2_fmask_rast
aq30m <- areaSieve(aq30m, thresh = (6*30*30), directions = 8)
```

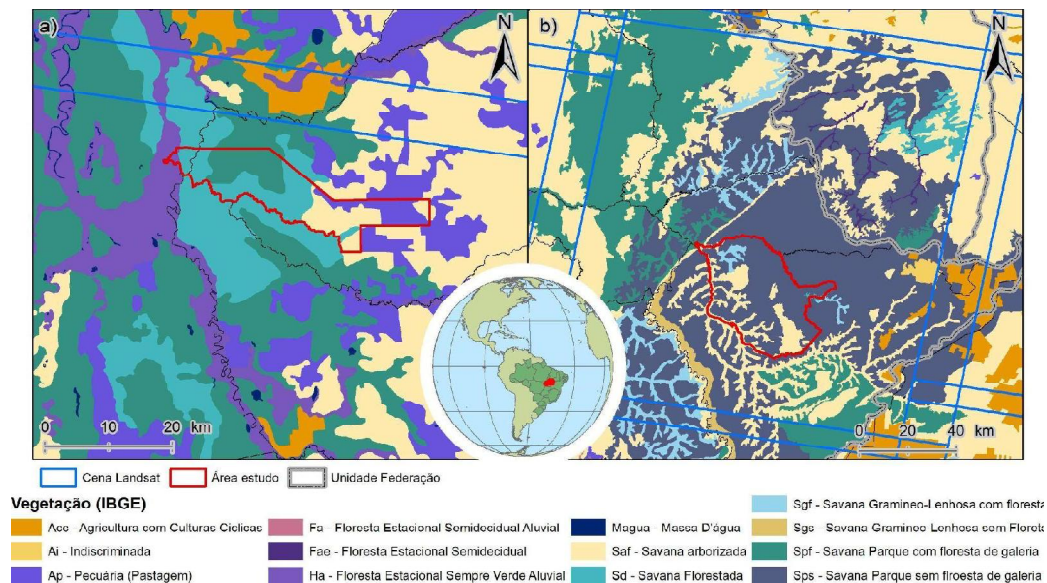
Figura 2 - Código usado para fatiamento e álgebra dos rasters para geração das áreas queimadas

### Área de Estudo

Para realizar os testes de aplicação das soluções desenvolvidas pelo BDC para mapeamento de área queimada foram identificadas 2 áreas de estudo no Bioma Cerrado (Figura 3) e estabeleceu-se o ano de 2020 como foco. Este bioma foi escolhido pois é a

mesma região de cobertura do dado aq30m do Programa Queimadas. As áreas de estudo foram escolhidas a partir de regiões com conhecimento prévio *in loco* e para realizar os testes em pequena e larga escala em relação a área. Portanto as áreas escolhidas foram a região do Assentamento Rural São Judas Tadeu, no município de Santa Rita do Tocantins, TO, na cena Landsat 223-068 (Figura 3a), e toda a região da cena Landsat 221-067 que corresponde a região do Parque Estadual do Jalapão (Figura 3b).

O Assentamento Rural São Judas Tadeu foi utilizado para realizar testes em pequena escala e é foco de estudo em tese de doutorado no programa de pós-graduação de Ciências do Sistema Terrestre do INPE.



**Figura 2 - Áreas de estudo a) região do Assentamento Rural São Judas Tadeu, cena Landsat 223-068; b) região do Parque Estadual do Jalapão, cena Landsat 221-067.**

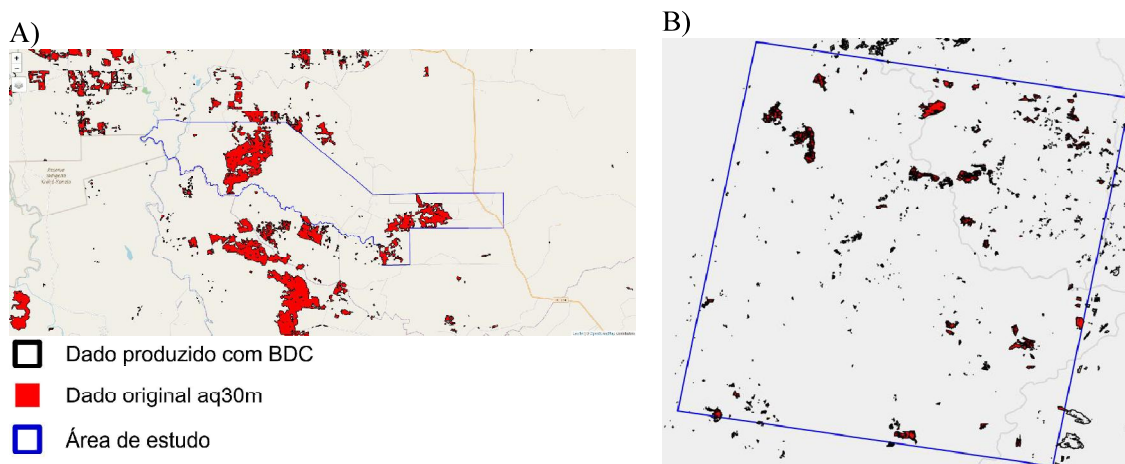
No ano de 2020, a cena Landsat 223-068 apresentou 17.646 focos ativos, 8.429 polígonos, totalizando 510.868 ha de área queimada. Esse dado foi obtido a partir de 6 imagens processadas no aq30m compreendendo o período de maio a setembro (INPE, 2019). É possível identificar também 5 fitofisionomias diferentes na região do assentamento rural. As imagens analisadas neste estudo foram capturadas em 31/08/2020 (t1) e 16/09/2020 (t2).

A região do Parque estadual do Jalapão é recorrentemente utilizada como área de testes no monitoramento pelo Programa Queimadas, incluindo diversos trabalhos de campo. Portanto, toda a área da Cena Landsat 221-067 foi designada para realizar os testes em maior escala.

Esta cena apresentou no ano de 2020 16.090 focos de fogo, 10.202 polígonos de aq30m, 665.195 ha de área queimada e foram processadas 10 imagens sem cobertura de nuvem no período de maio a novembro (INPE, 2019). Esta região também apresentou 6 fitofisionomias diferentes a partir de mapas do IBGE. As imagens foram capturadas em 17/08/2022 (t1) e 02/09/2020 (t2).

## Resultados

O resultado da aplicação do BDC no método de geração de polígonos potencialmente de área queimada utilizado no produto aq30m pelo Programa Queimadas pode ser visualizado para as duas áreas de estudo na Figura 4. Nesta figura, também é possível comparar o resultado obtido com os dados originais produzidos pelo Programa Queimadas. Essa comparação permite avaliar o resultado deste trabalho, detalhada na Tabela 1.



**Figura 4 - Comparação dos polígonos gerados (preto) com os polígonos originalmente produzidos pelo Programa Queimadas (vermelho) para região do assentamento São Judas Tadeu (A) e para a cena Landsat 227-061 (B).**

**Tabela 1 - Comparação entre os resultados obtidos no mapeamento de área queimada por meio de cada metodologia empregada, considerando as duas áreas de estudo.**

Metodologia	Assentamento São Judas Tadeu (A)		Cena Landsat 227-061 (B)	
	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>
aq30m	0,72	1,00	0,68	3,54
Otimizada com BDC	1,68	2,32	0,74	3,86
Concordância	97,60	134,69	98,59	516,65
Total	100	138,00	100	524,05

Esse resultado mostrou que os polígonos produzidos a partir dos recursos desenvolvidos pelo BDC mantém em média uma concordância de 98,10%, uma discordância de aproximadamente 0.70% e um ganho de 1.21% comparado aos produzidos pelo aq30m do Programa Queimadas, considerando apenas o mapeamento de áreas queimadas.

Levando em consideração o ganho em tempo de processamento, os recursos que o BDC disponibiliza, otimiza principalmente a etapa de pré-processamento e armazenamento para preparação e disponibilização dos dados, uma vez que retira do especialista do Projeto Queimadas a necessidade de se realizar o download, a normalização das imagens, e a remoção de nuvens.

Outro mecanismo de otimização utilizado, foi o de processamento em paralelo atrelado ao processamento completo de um *tile*, oriundo dos recursos desenvolvidos do pacote SITS (*Satellite Image Time Series Analysis for Earth Observation Data Cube*) do BDC.

Este recurso foi utilizado em conjunto com o filtro de mediana, a etapa mais custosa computacionalmente dentre todo o processo. Com isso, o BDC se apresenta viável para integrar a produção do produto aq30m e possibilita expandir melhorias no mapeamento de área queimada nos dados oficiais.

## Considerações Finais

Neste trabalho, foram realizadas importantes atividades de aplicação dos cubos de dados de observação da Terra e tecnologias desenvolvidas pelo projeto BDC para o aprimoramento no mapeamento de áreas queimadas. Os testes realizados em duas áreas diferentes evidenciaram a compatibilidade das tecnologias desenvolvidas pelo BDC para o mapeamento de mudança de uso e cobertura do solo usado na produção de dados de área queimada em conjunto com o Programa Queimadas do INPE. Portanto, futuros trabalhos de aplicação são promissores em testar novas melhorias na produção de mapas com o BDC, principalmente em parceria com outras iniciativas do instituto como o Programa Queimadas.

Por fim, este trabalho explorou e evidenciou aplicações somente com dados Landsat prontos para análise (ARD) gerados e disponibilizados pelo BDC. Entretanto, o BDC disponibiliza uma gama maior de dados e testes iniciais já começaram a ser realizados com outros dados, como o Sentinel. A tecnologia desenvolvida e mantida pelo BDC permite o acesso a grande quantidade de dados sem a necessidade de realizar downloads e pré-processamentos. Portanto, futuros trabalhos podem dar continuidade nesses estudos de aplicação.

## References

- BITTENCOURT, O. O.; MORELLI, F. CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS POR MACHINE LEARNING. p. 1784–1787, 2019.
- BITTENCOURT, O. O.; MORELLI, F.; DOS SANTOS JÚNIOR, C. A.; SANTOS, R. Evaluating Classification Models in a Burned Areas' Detection Approach. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), v. 11622 LNCS, p. 577–591, 2019.
- BITTENCOURT, O. O.; MORELLI, F.; JÚNIOR, C. A. S.; SANTOS, R. An Approach to Classify Burned Areas Using Few Previously Validated Samples. p. 239–254, 2020.
- CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P.; PALACIOS, A. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. International Journal of Remote Sensing, v. 23, n. 23, p. 5103–5110, 2002.
- FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R.; VINHAS, L.; MARUJO, R. F. B.; SIMOES, R. E. O.; PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; CARTAXO, R.; GOMES, V. C. F.; SANTOS, L. A.; SANCHEZ, A. H.; ARCANJO, J. S.; FRONZA, J. G.; NORONHA, C. A.; COSTA, R. W.; ZAGLIA, M. C.; ZIOTI, F.; KORTING, T. S.; SOARES, A. R.; CHAVES, M. E. D.; FONSECA, L. M. G. Earth observation data cubes for Brazil: Requirements, methodology and products. Remote Sensing, v. 12, n. 24, p. 1–19, 2020.
- GCOS. THE GLOBAL OBSERVING SYSTEM FOR CLIMATE: IMPLEMENTATION NEEDS. Guayaquil, Ecuador. 2016. Disponível em: <[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3417](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3417)>.
- INPE. Área Queimada — Programa Queimadas. 2019. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/destaque/area-queimada>>. Acesso em: 26 abr. 2022
- KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. 2006.
- MELCHIORI, A. E.; SETZER, A. W.; MORELLI, F.; LIBONATI, R.; CÂNDIDO, P. DE A.; JESÚS, S. C. DE. A Landsat-TM/OLI algorithm for burned areas in the Brazilian Cerrado: preliminary results. (D. X. Viegas, Ed.)In: Advances in Forest Fire research, VII International Conference on Forest Fire Research, 2014, Coimbra. Anais... Coimbra: Universidade de Coimbra, Portugal, 2014 Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6\\_143](http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_143)>
- ROUSE, J. W., JR.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp., Vol. 1, Sect. A, 1974, Anais... 1974
- SESSA, R.; DOLMAN, H. Terrestrial Essential Climate Variables for Climate Change Assessment, Mitigation and Adaptation. Roma. 2008. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Terrestrial+Essential+Climate+Variables+for+Climate+Change+Assessment,+Mitigation+and+Adaptation#6>>.