

SERVIÇO WEB PARA EXTRAÇÃO DE MÉTRICAS FENOLÓGICAS PARA AGRICULTURA USANDO SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS DE SATÉLITE

Gabriel K. Alves^{1,2}, Karine R. Ferreira¹, Bruno Schultz², Luiz F. R. Carvalho²,
Thiago G. Rodrigues²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Av. dos Astronautas, 1758 – 12227-010 – São José dos Campos – SP – Brasil

²Visiona Tecnologia Espacial, São José dos Campos, SP, Brasil

{gabriel.alves, karine.ferreira}@inpe.br

{gabriel.alves, bruno.schultz, thiago.rodrigues}@visionaespacial.com.br

lf.aerospace@gmail.com

Resumo. *O estudo dos padrões de vegetação sazonal observados por sensoriamento remoto é chamado de Land Surface Phenology (LSP). A partir de imagens de sensoriamento remoto, é possível obter métricas usadas para o monitoramento fenológico que auxiliam no entendimento da dinâmica da vegetação e na tomada de decisão. Existem diferentes métodos presentes na literatura para a extração dessas métricas a partir de imagens de satélites. Porém, um dos desafios é a extração dessas métricas a partir dos grandes volumes de imagens disponibilizadas atualmente por diferentes provedores. Especialistas se depararam com limitações de hardware para processar esse grande volume de dados em computadores pessoais. Para isso, o objetivo deste trabalho é desenvolver um serviço web para extração de métricas fenológicas a partir de grandes volumes de imagens modeladas como cubos de dados multidimensionais e de séries temporais de índices de vegetação. Esse serviço segue uma arquitetura “cliente-servidor”, processando todo o dado do lado do servidor e retornando para o cliente apenas o resultado do processamento. Usando esse serviço, um especialista pode extrair métricas a partir de grandes volumes de imagens sem se preocupar com limitações de processamento e com instalações de pacotes e sistemas em seu computador pessoal.*

1. Introdução

Fenologia é o estudo da sazonalidade dos eventos cíclicos de vida das espécies. Na agricultura, o conhecimento sobre a sazonalidade da vegetação é muito útil para definir, por exemplo, o uso de fertilizantes e de irrigação [Zeng et al. 2020].

A fenologia da vegetação medida a partir de imagens de sensoriamento remoto é chamada de *Land Surface Phenology* (LSP) [Noormets 2009]. A maioria das técnicas de LSP extraem métricas relacionadas ao crescimento e desenvolvimento da vegetação a partir de séries temporais de índice de vegetação. Alguns exemplos dessas métricas são: o início da estação (SOS), o pico da estação de crescimento (PEAK), o final da

estação (EOS) e a duração da estação (LOS). Na agricultura, estas métricas estão associadas à emergência foliar, ao máximo desenvolvimento vegetativo, à colheita das culturas agrícolas e à duração do ciclo da cultura, respectivamente [Zeng et al. 2020].

Existem diferentes métodos presentes na literatura para a extração dessas métricas fenológicas a partir de imagens de satélites e séries temporais de índice de vegetação, como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Esses métodos incluem desde abordagens simples que utilizam janelas de suavização linear até métodos mais complexos, como ajuste de funções de curva analíticas [Zeng et al. 2020].

O TIMESAT e o SEN2AGRI [Jönsson and Eklundh 2004, Sen2Agri] são exemplos de sistemas usados para extração de métricas fenológicas a partir de imagens de satélites. *CropPhenology*, *Phenofit* e *GreenBrown* [Araya et al. 2018, Zhang et al. 2018, Forkel et al. 2013] são exemplos de pacotes na linguagem R que produzem métricas fenológicas para agricultura a partir de séries temporais NDVI. O pacote *CropPhenology* extrai 15 métricas baseadas em fenologia tanto de séries temporais de imagens quanto de um conjunto de imagens multi-temporais no formato *raster* [Araya et al. 2018].

Recentemente, satélites de observação da Terra têm produzido grandes volumes de imagens com diferentes resoluções espaciais e temporais. O programa Copernicus da Comissão Europeia produz aproximadamente 10 TB de dados do satélite Sentinel por dia [Kempeneers and Soille 2017]. Portanto, um dos desafios encontrados atualmente é a extração de métricas fenológicas a partir desse grande volume de imagens. Especialistas se deparam com limitações de hardware para processar esse grande volume de dados em computadores pessoais.

O objetivo deste trabalho é projetar e desenvolver um serviço web para extração de métricas fenológicas a partir de grandes volumes de imagens modeladas como cubos de dados de observação da Terra e de séries temporais de índices de vegetação, com foco em aplicações agrícolas. Esse serviço segue uma arquitetura “cliente-servidor” que permite que os dados sejam processados do lado do servidor sem que o cliente precise baixar estes dados em sua máquina pessoal. Usando esse serviço, um especialista pode extrair métricas a partir de grandes volumes de imagens sem se preocupar com limitações de processamento e com instalações de pacotes e sistemas em seu computador pessoal.

O desenvolvimento de componentes de software como serviços web tem várias vantagens, como facilidade de uso e interoperabilidade entre sistemas. Serviços web facilitam a integração entre diferentes linguagens de programação, como R e Python, e diferentes tipos de aplicativos clientes [Vinhas et al. 2017]. Além disso, esses serviços podem disponibilizar recursos com um alto nível de abstração para os usuários, que não precisam se preocupar com computadores de processamento, instalação de softwares ou ambientes de programação.

Nesse contexto, esse artigo descreve o serviço web proposto, sua arquitetura, sua implementação utilizando os dados do projeto Brazil Data Cube (BDC) do INPE e os resultados preliminares alcançados até o momento.

2. Serviço web para extração de métricas fenológicas

A Figura 1 mostra a arquitetura do serviço web para extração das métricas fenológicas. O acesso e recuperação das séries temporais NDVI são feitos através dos serviços WTSS

(*Web Time Series Service*) e STAC (*Spatiotemporal Asset Catalog*) do projeto BDC [Ferreira et al. 2020].



Figura 1. Arquitetura do serviço web para extração de métricas fenológicas.

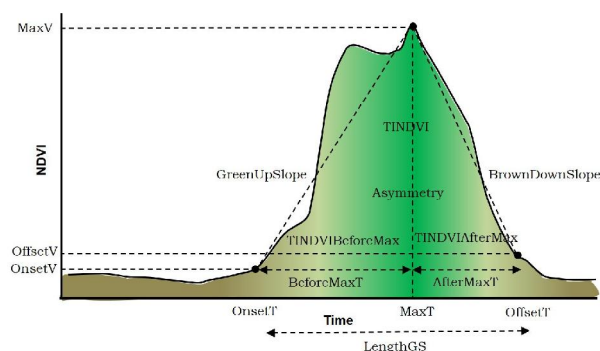
A etapa de pré-processamento consiste em uma normalização dos dados NDVI *int16* com valores $min=-10000.0$ e $max=10000.0$ para *float64* com valores $min=-1.0$ e $max=1.0$. Logo após, é feito um mascaramento de nuvens através de uma banda de qualidade fornecida pelos serviços BDC produzidas por diferentes métodos (*Fmask 4*, *MAJA*, *Sen2Cor* e *s2cloudless*) para cada tipo de sensor [Sanchez et al. 2020].

Após mascarar as nuvens e sombras de nuvens das séries temporais, é realizado uma interpolação linear simples para redução de ruídos referentes a ausência de dados observados. E por fim, a última etapa do pré-processamento é calcular a mediana das séries temporais de uma região específica (por exemplo, uma região de um talhão agrícola) para obter uma melhor representação espacial do conjunto de dados.

Para a extração das métricas fenológicas, foram adotados os métodos do pacote *CropPhenology* em R, e *Change Detection Derivated* que usam cálculos baseados na derivada da curva espectral para detectar os pontos de máximo e mínimo [Araya et al. 2018, Zeng et al. 2020]. O *CropPhenology* extrai 15 métricas fenológicas: *OnsetV*, *OnsetT*, *MaxV*, *MaxT*, *OffsetV*, *OffsetT*, *LengthGS*, *BeforeMaxT*, *AfterMaxT*, *GreenUpSlope*, *BrownDownSlope*, *TINDVIBeforeMax*, *TINDVIAfterMax*, *TINDVI* e *Asymmetry* [Araya et al. 2018]. Figura 2 mostra a representação das métricas na curva NDVI.

O serviço web proposto trabalha com padrões de comunicação REST usando a linguagem universal de troca de dados com o formato JSON, *JavaScript Object Notation* e propõe cinco operações, que podem ser vistas na Figura 3:

1. *pheno-metrics*: Esta operação é derivada do pacote *CropPhenology* e recebe como parâmetro: área de interesse, período de análise, token de acesso e nome do cubo de dados fornecidos pelo BDC. E retorna além das 15 métricas propostas pelo pacote em formatos raster *.tiff* e *grd*, as informações sobre os dados analisados.
2. *single-phenology*: Também é uma função derivada do *CropPhenology* que recebe os mesmos parâmetros, porém calcula as métricas através de um único ponto em



Fonte: [Araya et al. 2018].

Figura 2. Curva NDVI com representação das métricas fenológicas obtidas pelo *CropPhenology*.

uma única estação. Retorna 15 métricas propostas pelo pacote, as informações sobre a série usada e recursos do BDC. Um exemplo de sua resposta pode ser vista na Figura 4.

3. *pheno-metrics-derivated*: Função implementada através do *Change Detection Derivated*, que leva em conta os princípios de derivada e pontos locais de máximo e mínimo. Recebe os mesmos parâmetros que as demais operações e retorna 3 métricas fenológicas.
4. *get-thumbnail*: Operação auxiliar com a finalidade de retornar os thumbnails dos rasters gerados pelo *endpoint pheno-metrics* no formato *image/png*.
5. *get-image*: Operação auxiliar com a finalidade de retornar os rasters gerados pelo *endpoint pheno-metrics* no formato *image/tiff* ou *grd-file*.

Extract Phenologic metrics 1.0.0 OAS3

<http://127.0.0.1:8080/openapi.json>

API for extract time series

Servers

Metrics Operations for extract phenologic metrics

GET **/pheno-metrics** Extract 15 phenologic metrics from multi-temporal IV raster stack.

GET **/single-phenology** Extract 15 phenologic metrics from VI time series for a single season

GET **/pheno-metrics-derivated** Extract 3 phenologic metrics from VI time series using change detection derivated method.

Aux Functions Auxiliary functions

GET **/get-thumbnail** Returns the thumbnail (.png) of the /pheno-metrics endpoint.

GET **/get-image** Returns file (.tiff/.grd/.gr) of endpoint /pheno-metrics.

Figura 3. Documentação das operações disponíveis no serviço web.

```

SinglePhenology v {
  area          string
                example: {"type": "Polygon", "coordinates": [[[-42.0968627929688, -19.6478313116944],[-42.0968627929688, -19.6478313116844]]]}
  datacube     string
                example: S2-SEN2COR_10_16D_STK-1
  period       string
                example: 2019-01-01/2020-01-01
  source       string
                example: https://brasildatacube.dpi.inpe.br/wtcs
  service      string
                example: Rvtss
  version      string
                example: 0.9.2
  method       string
                example: single-phenology
  time_series  > [...]
  phenologic_metrics > [...]
  statistics   > [...]
}
    
```

Figura 4. Esquema resposta da operação *single-phenology*.

3. Estudo de caso e resultados preliminares

Para testar o serviço proposto, foi realizado um estudo de caso utilizando talhões agrícolas no estado do Maranhão e selecionados 10 pontos aleatórios inseridos em cada um deles para a extração das séries temporais. O cubo de dados usado foi o S2-SEN2COR_10_16D_STK1 para um período de 2019/2020. A Figura 5 mostra os talhões usados juntamente com a mediana das séries temporais extraídas.

A função *single-metrics-derivated* do serviço que usa o método *Change Detection Derivated* foi utilizada para detectar as métricas SOS, PEAK e EOS a partir da mediana das séries obtidas, a técnica foi capaz de extrair um estágio de cultivo retornando os pontos SOS, PEAK e EOS. Os resultados podem ser observados na Figura 6.

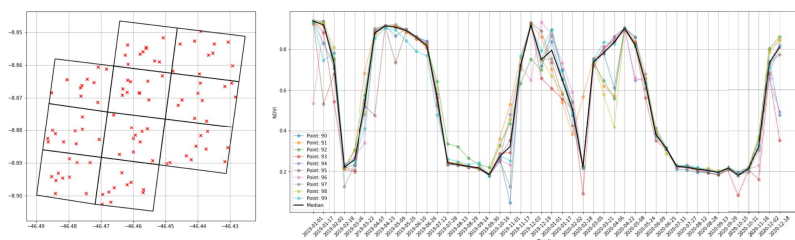


Figura 5. Talhões usados e mediana das séries temporais extraídas.

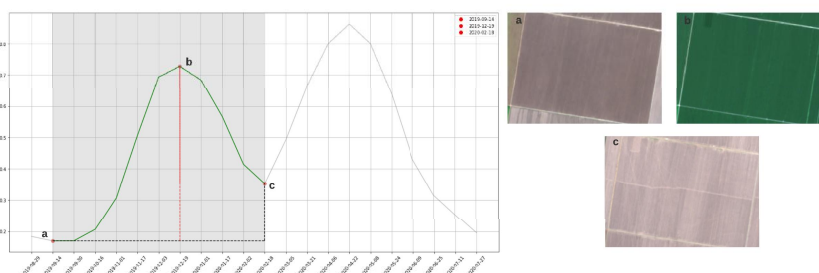


Figura 6. Métricas fenológicas SOS (a), PEAK (b) e EOS (c) detectadas pela função *pheno-metrics-derivated* do serviço que utiliza o método *Change Detection Derivated* e suas respectivas imagens a direita.

Para o desenvolvimento do serviço web, foram usados as linguagens de programação *Python* e *R*, tecnologias de empacotamento de código de softwares com o *Docker*. Pacotes para geração de API (*Plumber* e *Flask*), além de seguir padrões e especificações de documentação como o *Openapi* e *Swagger*.

Este é um trabalho em desenvolvimento e, portanto, o serviço não está em operação ainda. Os próximos passos desse trabalho são: (1) explorar meios de implantação do serviço e avaliar seu desempenho; (2) testar novos métodos e pacotes em *R* como *GreenBrown* e *Phenofit*; (3) usar a nova versão do serviço WTSS para extração de séries temporais de polígonos para que não haja necessidade de criar pontos aleatórios nas áreas de interesse e (4) aprimorar o serviço para melhorar a sua performance.

Referências

- Araya, S., Ostendorf, B., Lyle, G., and Lewis, M. (2018). Crop phenology: An r package for extracting crop phenology from time series remotely sensed vegetation index imagery. *Ecological Informatics*, 46:45–56.
- Ferreira, K. R., Queiroz, G. R., Vinhas, L., Marujo, R. F. B., Simoes, R. E. O., Picoli, M. C. A., Camara, G., Cartaxo, R., and et al (2020). Earth observation data cubes for brazil: Requirements, methodology and products. *Remote Sensing*, 12(24).
- Forkel, M., Carvalhais, N., Verbesselt, J., Mahecha, M. D., Neigh, C. S., and Reichstein, M. (2013). Trend change detection in ndvi time series: Effects of inter-annual variability and methodology. *Remote Sensing*, 5(5):2113–2144.
- Jönsson, P. and Eklundh, L. (2004). Timesat—a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & geosciences*, 30(8):833–845.
- Kempeneers, P. and Soille, P. (2017). Optimizing sentinel-2 image selection in a big data context. *Big Earth Data*, 1(1-2):145–158.
- Noormets, A. (2009). *Phenology of ecosystem processes: applications in global change research*. Springer.
- Sanchez, A. H., Picoli, M. C. A., Camara, G., Andrade, P. R., Chaves, M. E. D., Lechler, S., Soares, A. R., Marujo, R. F. B., Simões, R. E. O., Ferreira, K. R., and Queiroz, G. R. (2020). Comparison of cloud cover detection algorithms on sentinel-2 images of the amazon tropical forest. *Remote Sensing*, 12(8).
- Sen2Agri. Sentinel-2 for agriculture. <http://www.esa-sen2agri.org/>. Accessed: 2022-09-02.
- Vinhas, L., de Queiroz, G. R., Ferreira, K. R., and Camara, G. (2017). Web services for big earth observation data. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(5).
- Zeng, L., Wardlow, B. D., Xiang, D., Hu, S., and Li, D. (2020). A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 237:111511.
- Zhang, Q., Kong, D., Shi, P., Singh, V. P., and Sun, P. (2018). Vegetation phenology on the qinghai-tibetan plateau and its response to climate change (1982–2013). *Agricultural and Forest Meteorology*, 248:408–417.