CATALOGAÇÃO DE IMAGENS DOS SATÉLITES GOES NA BASE DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS DO INPE

Douglas Messias Uba[1], *Gilberto Ribeiro de Queiroz*[1], *Lubia Vinhas*[1]

[1]Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Brasil.
{douglas.uba, gilberto.queiroz, lubia.vinhas}@inpe.br

RESUMO

BIG, sigla para Base de Informações Georreferenciadas, é um programa institucional em desenvolvimento no INPE. O objetivo é construir uma plataforma computacional de alto desempenho para gerenciamento, integração, processamento e disponibilização de dados geoespaciais volumosos. A plataforma prevê a inclusão de dados ambientais diversos, obtidos por sensoriamento remoto orbital, bases cartográficas, parâmetros medidos por estações de coleta *in-situ*, resultados de modelos numéricos do sistema terrestre, dentre outros. Neste contexto, a catalogação dos dados e metadados é uma etapa fundamental, de modo a possibilitar a exploração e acesso padronizados às informações. Com este objetivo, o padrão STAC foi adotado. Este trabalho apresenta detalhes do processo de catalogação das imagens obtidas pelos satélites meteorológicos geoestacionários da série GOES no ambiente BIG, descrevendo as coleções atualmente disponíveis e um exemplo de acesso e processamento dessas imagens. Atualmente o catálogo integrado de imagens pode ser acessado a partir do endereço *https://data.inpe.br/stac/browser*.

Palavras-chave – sensoriamento remoto, imagem, meteorologia, GOES, STAC.

ABSTRACT

BIG, an acronym for Georeferenced Information Base, is an institutional program under development at INPE. Its goal is to build a high-performance computational platform for managing, integrating, processing, and making large geospatial datasets available. The platform includes various environmental data obtained through orbital remote sensing, cartographic bases, parameters measured by in-situ collection stations, results from Earth system numerical models, among others. Data and metadata cataloging is a crucial step in this context, enabling standardized exploration and access to the information. To achieve this, the STAC standard has been adopted. This paper presents details of the cataloging process for images obtained by the GOES series geostationary meteorological satellites in the BIG environment, describing the currently available collections, with one example of access and processing of these images. The integrated image catalog can currently be accessed at the address https://data.inpe.br/stac/browser.

Key words – *remote sensing, image, meteorology, GOES, STAC.*

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) destaca-se como um dos principais centros de pesquisa no desenvolvimento e aplicação de tecnologias de sensoriamento remoto. O INPE é responsável por programas que impulsionam a produção de conhecimento sobre o meio ambiente, contribuindo diretamente para a formulação de políticas públicas em áreas como o monitoramento de desmatamento, queimadas, mudanças climáticas e eventos extremos.

Por meio de satélites, é possível obter informações sobre a atmosfera, o clima, o uso da terra, recursos hídricos, ecossistemas, ações antrópicas diversas, dentre outros cenários. Esse tipo de tecnologia permite observar e coletar dados de amplas regiões geográficas, oferecendo uma visão abrangente, contínua e confiável das dinâmicas do planeta Terra. A crescente evolução tecnológica e a demanda por imagens e produtos satelitais de alta qualidade e alta resolução espaço-temporal requer sistemas computacionais cada vez mais sofisticados e eficientes para o tratamento desses dados. A criação de plataformas que integram as diversas informações torna-se essencial para o avanço da ciência e o aprimoramento das pesquisas e métodos de análises [1].

Neste sentido, em 2022, o INPE oficializou o programa **BIG**, sigla para Base de Informações Georreferenciadas [2]. O objetivo principal é a construção de uma plataforma computacional de alto desempenho para gerenciamento, integração, processamento e disponibilização de grandes conjuntos de dados geoespaciais. A plataforma prevê o tratamento de diversos dados ambientais, obtidos de diferentes fontes, incluindo sensoriamento remoto orbital, bases cartográficas, parâmetros medidos por estações de coleta *in-situ*, resultados de modelos numéricos do sistema terrestre, dentre outros. Além disso, o sistema tem o papel de organizar os metadados, fornecendo também interfaces de acesso flexíveis (*e.g.* APIs). Em médio prazo, pretende-se fornecer aos usuários um ambiente de processamento analítico para a execução de processamentos junto aos dados (*i.e.* na nuvem) e assim produzir novas informações e evidências, em suporte à tomada de decisão. O acesso deste modo tem a capacidade de promover a interoperabilidade e a integração de diferentes disciplinas e setores, facilitando a criação de novas ferramentas e metodologias em diversas temáticas, sem a necessidade da transferência de uma quantidade enorme de arquivos e aproveitando o poder computacional de grandes parques computacionais.

Mais especificamente, a **catalogação** dos dados e metadados é uma etapa fundamental em plataformas que integram grandes volumes de dados geoespaciais

https://proceedings.science/p/197539?lang=pt-br

heterogêneos. Padrões abertos, como o *SpatioTemporal Asset Catalog* (STAC) [3], são fundamentais para garantir que esses dados possam ser organizados e acessados de maneira padronizada, facilitando a busca e o uso das informações em diferentes linguagens, ambientes e aplicações.

Este artigo apresenta detalhes da catalogação das imagens de satélites meteorológicos da série GOES no ambiente BIG, que adota o padrão STAC para organizar os dados. O trabalho demonstra como a integração de tecnologias de sensoriamento remoto da atmosfera com plataformas computacionais avançadas pode ampliar o acesso e o uso desse tipo de dado em aplicações diversas. São descritas as coleções atualmente disponíveis e um exemplo de acesso e processamento das imagens.

2. SATÉLITES GOES

Os satélites da série GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) possuem enorme relevância no monitoramento meteorológico global. A primeira missão GOES foi lançada em 1975 pelos Estados Unidos, com o objetivo de fornecer imagens e dados meteorológicos contínuos a partir de uma órbita geoestacionária. Desde então, a série GOES tem evoluído em termos de capacidades tecnológicas, com novas gerações de satélites sendo lançadas para substituir os anteriores e ampliar o escopo das missões. A família GOES é composta por múltiplas gerações, desde os primeiros GOES-1 a GOES-7, passando pela série GOES-I-M, GOES-N-P, até os mais recentes GOES-R, que são os mais avançados em operação atualmente.

Novamente, é importante afirmar que o INPE possui destaque reconhecido na área, com a utilização e disseminação das imagens obtidas pelos satélites geoestacionários GOES, em especial no monitoramento meteorológico e ambiental da América do Sul. O Instituto, ao longo dos anos, através da Divisão de Satélites e Sensores Meteorológicos (DISSM), têm recebido, armazenado e processado os dados desses satélites com o objetivo principal de atender as necessidades locais, oferecendo suporte indispensável às previsões de tempo e ao monitoramento de fenômenos meteorológicos diversos no Brasil e América do Sul.

2.1. GOES-13 e GOES-16: Importância para o Brasil e América do Sul

O satélite GOES-13 foi fundamental no monitoramento meteorológico da América do Sul durante quase uma década. Lançado em 2006, ele foi reposicionado em 2010 para cobrir a região do Atlântico Sul, oferecendo imagens importantes para previsões do tempo e acompanhamento de eventos atmosféricos sobre o Brasil e países vizinhos. O satélite era equipado com um imageador que possuía 5 canais espectrais (um visível - VIS, e quatro infravermelhos - IR), usados para observações meteorológicas básicas, como a temperatura da superfície, vapor d'água e detecção de nuvens. Durante todo esse período, forneceu dados para o monitoramento geral da atmosfera, de tempestades severas, formação de ciclones e detecção de queimadas, além de contribuir para o acompanhamento do comportamento climático na região. No modo *full-disk* [1], o satélite era capaz de obter novas imagens a cada 30 minutos, com resolução espacial de 1 a 4km, dependendo do canal espectral.

Com o lançamento do GOES-16, em 2016, uma nova era de monitoramento ambiental teve início. Este satélite oferece uma cobertura ainda mais detalhada da América do Sul, com capacidade para fornecer imagens em alta resolução temporal, com novas imagens a cada 10 minutos no modo *full-disk*, com resolução espacial de 500m a 2km, também dependendo do canal espectral. O GOES-16 possibilitou melhorias significativas na qualidade dos dados, com novos sensores capazes de capturar mais bandas espectrais (16 no total), permitindo uma análise mais ampla e detalhada dos sistemas e eventos meteorológicos.

Sendo assim, optou-se inicialmente pela catalogação das imagens desses dois satélites (GOES-13 e GOES-16) no ambiente BIG. O primeiro por possuir um histórico amplo e relativamente recente de imagens (2011 até 2018), enquanto o segundo é atualmente o satélite em operação (também conhecido como GOES-Leste), com a melhor capacidade de observação do território brasileiro, países vizinhos e oceanos adjacentes.

3. STAC

O padrão *SpatioTemporal Asset Catalog* (STAC) organiza o acesso à dados geoespaciais, como imagens de satélites, utilizando três conceitos principais: **Collection**, **Item** e **Assets**. **Collection** agrupa dados similares, como um conjunto de imagens obtidas de um mesmo sensor ou satélite ao longo do tempo, oferecendo informações gerais sobre a origem e características desses dados. **Item** representa uma unidade de dados específica, como imagens correspondentes a um local ou momento exatos, com metadados espaciais, temporais e espectrais. Por fim, **Assets** são os arquivos associados ao **Item**, podendo incluir diferentes formatos, resoluções, variáveis, dados auxiliares, dentre outros aspectos. O padrão facilita o acesso à esses arquivos de modo padronizado, tornando-o uma escolha eficiente para catalogação e permitindo sua interoperabilidade em diversos sistema, além de oferecer consultas espaço-temporais otimizadas. Por último, no mais alto nível, o conceito **Catalog** agrupa diversas **Collections** (Fig. 1).

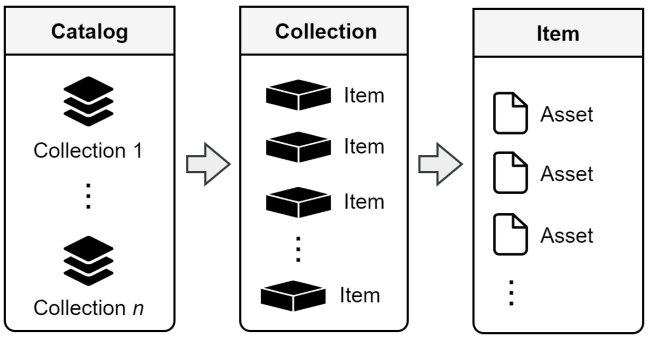

Figura 1: Conceitos e organização do padrão STAC.

[1] Setor *full-disk* refere-se ao imageamento de um Polo a outro da Terra, dentro dos limites de longitude estabelecidos pela posição do satélite geoestacionário.

https://proceedings.science/p/197539?lang=pt-br

3.1. Coleções GOES

No escopo deste trabalho, seguindo o padrão STAC, duas coleções foram construídas para compor o catálogo da BIG: **`GOES13-L3-IMAGER`** e **`GOES16-L2-CMI`**, considerando os satélites GOES-13 e GOES-16, respectivamente. Para ambas as coleções, optou-se por estabelecer cada observação (*i.e. scan*) do satélite geoestacionário como um **Item** específico. Dando sequência, todo **Item** possui um conjunto de arquivos (*i.e.* **Assets**), em que cada um deles representa os valores medidos por determinado canal espectral do satélite. Ou seja, cada **Item** da coleção GOES-13 possui idealmente **5 Assets**, enquanto na coleção GOES-16, cada **Item** possui idealmente **16 Assets**, quantidades concordantes com o número de canais espectrais dos sensores. Importante informar que podem haver arquivos faltantes, devido a falhas do satélite, ou na transmissão, recepção, processamento ou armazenamento dos dados.

A coleção **`GOES13-L3-IMAGER`** possui imagens do satélite GOES-13 que foram adquiridas no período de 25/11/2011 - 03:00 PM UTC até 08/01/2018 - 03:00 PM UTC. Por ser tratar de dados históricos, optou-se por catalogar os dados pós-processados. O processamento compreendeu o remapeamento dos pixels, da projeção original de aquisição (*i.e.* projeção geostacionária), do modo *full-disk*, para uma grade geográfica espaço-temporal uniforme (EPSG:4326), de resolução espacial 0,04 graus. A área geográfica utilizada neste processo foi escolhida de modo a destacar o Brasil, América do Sul, América Central e oceanos adjacentes. Os arquivos de imagem são do tipo binário, codificados utilizando o tipo de dado *int16* e representam uma matriz de valores (refletância para VIS e temperatura de brilho para IR) com 1714 linhas e 1870 colunas (Fig. 2).

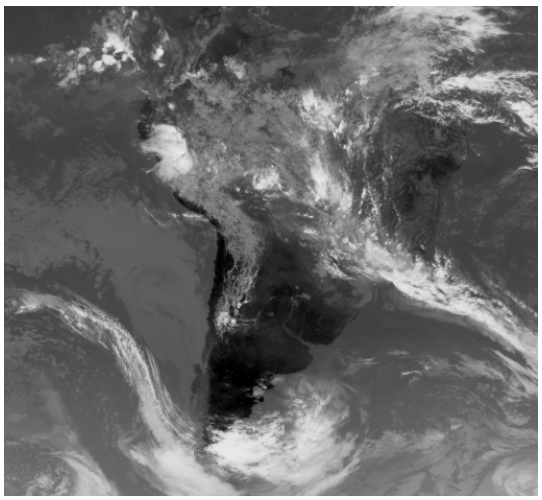

Figura 2: Exemplo de uma imagem GOES-13 disponível no catálogo BIG. Canal 04 - IR.

A coleção **`GOES16-L2-CMI`** possui imagens do satélite GOES-16 que foram adquiridas desde 26/04/2017 - 12:45 PM UTC até o presente. Como este satélite está operacional, o processo de catalogação acontece para cada novo conjunto de imagens recebidas, mantendo o catálogo sempre atualizado com as informações mais recentemente disponíveis. Se tratando de dados operacionais, optou-se por catalogar os dados brutos, ou seja, na projeção original de aquisição, *full-disk* (Fig. 3). Neste caso, os arquivos estão no formato NetCDF, com as informações completas e originais que foram produzidas pela estação de recepção GOES-R do INPE [4].

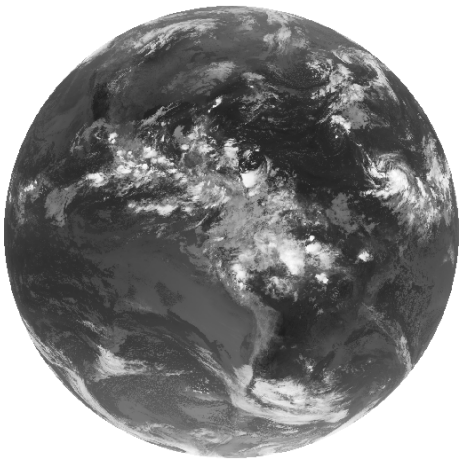

Figura 3: Exemplo de uma imagem GOES-16 disponível no catálogo BIG. Canal 13 - IR.

Ambas as coleções oferecem também, em cada **Item**, um arquivo para pré-visualização rápida das informações disponíveis (*i.e. thumbnail*). Atualmente, o catálogo integrado pode ser acessado a partir do endereço *https://data.inpe.br/stac/browser* (Fig. 4).

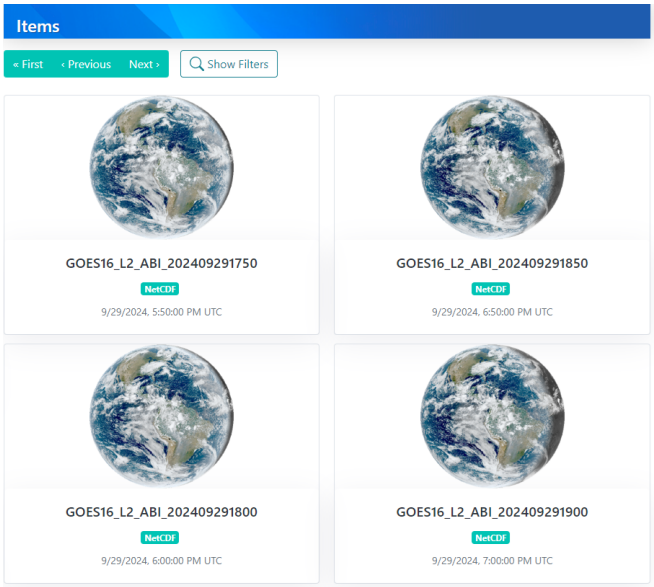

Figura 4: Exemplos de itens da Coleção GOES-16 acessados a partir da interface gráfica disponível em *https://data.inpe.br/stac/browser*.

4. EXEMPLO DE USO

Nesta seção é apresentado um exemplo prático de como explorar o catálogo de imagens GOES no ambiente BIG utilizando o cliente denominado PySTAC Client [5]. PySTAC Client é um pacote Python que torna possível a interação programática com catálogos STAC, permitindo a busca e recuperação dos dados. A partir de comandos simples, os

usuários podem acessar as imagens GOES, realizar consultas baseadas em parâmetros como data e bandas espectrais, além de poder manipular os dados para diferentes aplicações. O *script* apresentado na Figura 5 demonstra as etapas básicas para interagir com o catálogo STAC do INPE, realizar uma busca na coleção GOES-16 por data e como os valores dos pixels de uma imagem de uma canal espectral específico podem ser recuperados. O resultado do *script* é apresentado na Figura 6.

```python
import pystac_client

# Conexao com o Catalogo STAC/INPE
service = pystac_client.Client.open(
  'https://data.inpe.br/bdc/stac/v1/'
)

# Busca por imagens GOES-16 do dia 08/04/2024
item_search = service.search(
  collections=['GOES16-L2-CMI-1'],
  datetime='2024-04-08'
)

# Numero de itens encontrados
item_search.matched()

# Obtem uma lista dos itens
items = list(item_search.items())

# Acessa o primeiro item da lista
item = items[0]

# Assets disponiveis
item.assets

# Abrindo a imagem do Canal 13 - IR
from netCDF4 import Dataset
ir = Dataset(
  item.assets['B13'].href + '#mode=bytes'
)

# Exibe a imagem
from matplotlib import pyplot as plt
plt.imshow(ir.variables['CMI'][:], cmap='Greys')
plt.colorbar()
```

Figura 5: Conexão com o catálogo STAC e pesquisa à coleção GOES-16. Consulta-se as imagens disponíveis do dia 08 de Abril de 2024. Por último, realiza-se a exibição de uma imagem do Canal 13 - IR.

5. CONCLUSÕES

A catalogação das imagens meteorológicas da série GOES na Base de Informações Georreferenciadas (BIG) do INPE representa um marco significativo no gerenciamento e distribuição de dados geoespaciais de grande escala. O uso do padrão STAC facilita o acesso e a exploração desses dados, promovendo um modo padronizado de acesso que beneficia a comunidade científica e outros usuários que dependem de informações ambientais em alta resolução e frequência de diferentes fontes. Além disso, a integração de imagens meteorológicas e imagens para análise de uso e cobertura da terra, em uma mesma plataforma, é considerado um importante avanço, reforçando o papel do INPE como um provedor de dados abertos para monitoramento climático e ambiental em diversas áreas temáticas.

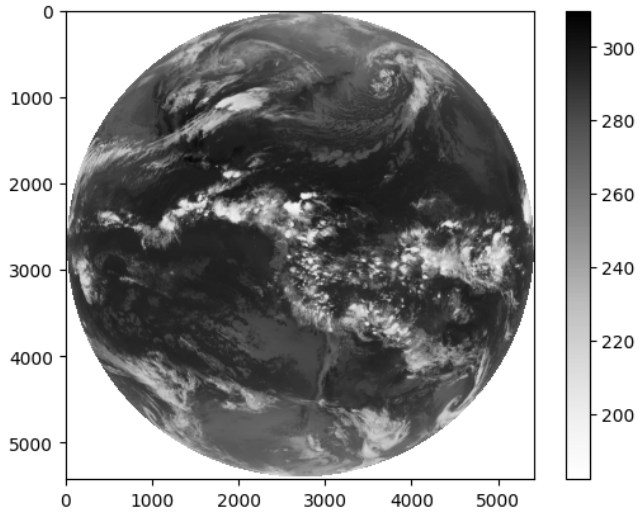

Figura 6: Resultado do *script*: os pixels da imagem do Canal 13 - IR são acessados e exibidos utilizando uma escala de cores em tons de cinza. Os valores representam a temperatura de brilho medida pelo satélite.

Os autores preveem a expansão do catálogo para incluir dados históricos de outros satélites, como o GOES-10 e o GOES-12, que também desempenharam papéis importantes no monitoramento climático e ambiental da América do Sul. Além disso, há planos para integrar produtos derivados gerados pela Divisão de Satélites e Sistemas Meteorológicos (DISSM) do INPE, como dados de precipitação, radiação solar, ventos e oceanografia. A inclusão desses novos conjuntos de dados históricos e produtos derivados ampliará ainda mais as possibilidades de análise, proporcionando uma base sólida para estudos de longo prazo e auxiliando no desenvolvimento de novas ferramentas.

6. REFERÊNCIAS

[1] Karine R. Ferreira, Gilberto R. Queiroz, Lubia Vinhas, Rennan F. B. Marujo, Rolf E. O. Simoes, Michelle C. A. Picoli, Gilberto Camara, Ricardo Cartaxo, Vitor C. F. Gomes, Lorena A. Santos, Alber H. Sanchez, Jeferson S. Arcanjo, José Guilherme Fronza, Carlos Alberto Noronha, Raphael W. Costa, Matheus C. Zaglia, Fabiana Zioti, Thales S. Korting, Anderson R. Soares, Michel E. D. Chaves, and Leila M. G. Fonseca. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing*, 12(24), 2020.

[2] Base de Informações Georreferenciadas (BIG) do INPE. https://data.inpe.br/, 2024. Acesso em: 04 Out. 2024.

[3] SpatioTemporal Asset Catalog (STAC) Specification. https://stacspec.org, 2023. Acesso em: 04 Out. 2024.

[4] Douglas Messias Uba, Luiz Augusto Toledo Machado, Sérgio de Paula Pereira, Diego Rodrigo Moitinho de Souza, Renato Galante Negri, and Rogério da Silva Batista. DSAT: Aplicação para Visualização Interativa dos Dados Recebidos pela Estação GOES-R do INPE. In *Anais...*, São José dos Campos, 2023. XX SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

[5] PySTAC Client. https://pystac-client.readthedocs.io/, 2023. Acesso em: 04 Out. 2024.