

SERVIÇO WEB PARA SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO TECNOLÓGICA (PIBITI/CNPq/INPE)

Raphael Willian da Costa (FATEC São José dos Campos, Bolsista
PIBITI/CNPq)

E-mail: raphael.costa@dpi.inpe.br

Dr. Gilberto Ribeiro de Queiroz (DPI/INPE, Orientador)

E-mail: gribeiro@dpi.inpe.br

COLABORADORES

Ricardo Cartaxo Modesto de Souza (DPI/OBT/INPE)

Julho de 2015

Ficha será revisada pelo SID.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Cutter Sobrenome, Prenome(s) Completos do(s) Autor(es).
 Título da publicação / Nome Completo do Autor(es). - São José
 dos Campos: INPE, ano da publicação.

 Grau(Mestrado ou Doutorado em Nome do Curso) - Instituto
 Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, ano de
 defesa.

 Orientador: Nome completo do orientador(es).

 1. Assunto. 2. Assunto. 3. Assunto. 4. Assunto. 5. Assunto.
I. Título

CDU

Copyright AAAA do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright AAAA by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming or otherwise, without written permission from the INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

FOLHA DE APROVAÇÃO

CONFECCIONADA PELO SPG E INCLUÍDA PELO SID.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração e apoio de diversas pessoas. Primeiramente, ao meu orientador Dr. Gilberto Ribeiro de Queiroz pelo o total apoio, disponibilidade, encorajamento contínuo e pela oportunidade de desenvolvimento deste projeto. Como orientador foi o expoente máximo, apresentando novos caminhos, introduzindo-me dentro do cenário científico, sendo fundamental nas vitórias adquiridas ao longo deste projeto. Ao Dr. Eymar Lopes, Eng. Ricardo Cartaxo Modesto de Souza, cujos conhecimentos transmitidos, novas oportunidades e total disponibilidade, foram notáveis ao longo deste projeto. Ao Dr. Gilberto Câmara, que além de motivar, também possibilitou oportunidades de presenças em eventos e congressos científicos. À minha família e amigos por terem me apoiado e ficarem ao meu lado nos momentos mais necessários e aos membros presentes na DPI por estarem sempre dispostos a ajudar e compartilhar conhecimentos.

RESUMO

Diversos estudos vêm demonstrando o potencial da aplicação de séries temporais de imagens de satélite para geração e melhoria de mapas de uso e cobertura da terra e para o monitoramento da produção agrícola. Neste sentido, tem-se a necessidade de um serviço que possa ser facilmente integrado a ferramentas de visualização e análise, como TerraView, QuantumGIS, Python e R sendo imprescindível para o estudo da dinâmica e uso da cobertura da terra. Este trabalho de iniciação tecnológica tem como objetivo desenvolver uma ferramenta computacional denominada SciWCS que permite recuperar as séries temporais de sensoriamento remoto armazenadas em um sistema gerenciador de bancos de dados matriciais SciDB modelado em uma arquitetura de serviços através da nova interface OGC Web Coverage Service 2.0 (WCS). Esta interface possibilita o intercâmbio dos dados científicos armazenados no SciDB com as ferramentas GIS. A especificação WCS 2.0 possui uma estrutura modular, composta por diversas extensões de formatos de intercâmbio e operações. Para avaliação desta ferramenta, foram utilizados os dados dos produtos MOD09Q1 e MOD13Q1 provenientes do sensor MODIS correspondendo a América do Sul.

A WEB SERVICE FOR HANDLING TIME SERIES OF REMOTE SENSING IMAGERY

ABSTRACT

Several studies have demonstrated the potential use of time series of remote sensing imagery to improve and to generate land cover maps for crop production monitoring. Therefore, it is fundamental the design and development of geographic web services that can be easily integrated to GIS applications, such as QuantumGIS and TerraView, in order to allow the study of dynamics in land cover and land change. This technology initiation project aims to introduce a tool, named SciWCS, for handling time series of remote sensing data stored on top of a multidimensional array database SciDB. SciWCS is designed in a Service-Oriented Architecture (SOA) through the new OGC Web Coverage Service 2.0 specification. This interface grants the interoperability between the data stored on SciDB and GIS applications. The new OGC WCS 2.0 has been designed on modular architecture, having a suite of specifications fitting into an extensible concept. To assess this tool, it has been used the data set MOD09Q1 and MOD13Q1 from the MODIS sensor covering the whole South America.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1. Representação da Arquitetura OGC WCS 2.0 Fonte: http://www.opengeospatial.org/standards/wcs	23
Figura 2. Arquitetura do SciDB Fonte: http:// www.paradigm4.com	26
Figura 3. Representação da Arquitetura do SciWCS	28
Figura 4. Diagrama de classe da ferramenta SciWCS	29
Figura 5. Diagrama de classe dos metadados geoespaciais	30
Figura 6. (a) Exemplo de requisição da operação GetCapabilities; (b) Documento no formato XML obtido através da resposta da operação GetCapabilities.....	31
Figura 7. (a) Exemplo de requisição da operação DescribeCoverage; (b) Representação de um documento no formato XML com os metadados da coverage obtido na operação DescribeCoverage	32
Figura 8. (a) Exemplo de requisição da operação GetCoverage; (b) Documento no formato XML com as séries temporais obtida através da operação GetCoverage	33
Figura 9. Apresentação do Plugin WCSViewer e as séries temporais no QGIS	35

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 1. Possíveis parâmetros associados à operação GetCoverage presente na interface WCS	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JSON	JavaScript Object Notation
OGC	Open Geospatial Consortium
WCS	Web Coverage Service
WCPS	Web Coverage Processing Service
SOAP	Simple Object Access Protocol
REST	Representational State Transfer

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1	Introdução.....19
2	Revisão da Literatura21
2.1.	Geo Web Services21
2.2.	Web Coverage Service 2.022
2.3.	Disseminação de séries temporais em sensoriamento remoto24
2.4.	Banco de dados matriciais - SciDB24
3	Metodologia.....27
3.1.	Ambiente.....27
3.2.	Imagens de sensoriamento do sensor MODIS27
3.3.	Arquitetura.....27
3.4.	Considerações Finais34
4	Experimentos e resultados.....35
4.1.	Visualização das séries temporais no QGIS.....35
5	Conclusões e Trabalhos Futuros37

1 Introdução

Diversos estudos vêm demonstrando o grande potencial das séries temporais de imagens de satélites para geração de mapas, para o monitoramento da produção agrícola e geração de conhecimento sobre a área de cobertura terrestre (Fuller, D. O. 1998; Li, J et. al. 2004). Neste sentido, um serviço que possa facilmente se integrar com ferramentas GIS é imprescindível para o estudo da dinâmica e uso da cobertura da terra. Entretanto, as organizações e as instituições que produzem os dados das séries temporais têm dificuldades em fornecer o acesso a tais dados através de uma interface de formato padronizado. No âmbito para construção de serviços web na área da geoinformática, o Open Geospatial Consortium (OGC), uma organização formada por instituições nos moldes da ISO, vem tendo uma grande importância desenvolvendo mecanismos e interfaces padronizadas a fim de promover a interoperabilidade entre sistemas GIS. Dentre as especificações desenvolvidas, a *Web Coverage Service (WCS)* é uma especificação que fornece mecanismos de acesso a *coverages* espaços-temporais. Na prática as *coverages* espaciais são, na maior parte dos casos, dados geográficos com representações matriciais discretas como as imagens de sensoriamento remoto. (Queiroz et al., 2015).

As ferramentas que fornecem as séries temporais de imagens sensoriamento possibilitam recuperar as séries temporais basicamente a partir de um domínio geográfico e dimensão de tempo, retornando a imagem ou os dados representados na grade. Neste contexto, Freitas et al. (2011) apresentam um laboratório virtual para a visualização instantânea de séries temporais. Entretanto, este laboratório virtual não possui a estrutura modelada em uma interface de programação de aplicativos (API), em uma arquitetura de serviços web para possibilitar a construção de novos aplicativos. Queiroz et al. (2015) desenvolveram uma ferramenta leve e rápida denominada *Web Time Series Service (WTSS)* que recupera as séries temporais de imagens de sensoriamento provenientes do sensor MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) armazenados

no sistema gerenciador de banco de dados SciDB, fazendo uso de tecnologias para disseminação como JSON (<http://www.json.org>) para a recuperação dos dados e REST (<http://www.w3.org/2001/sw/wiki/REST>) para o protocolo de comunicação no desenvolvimento da API de serviço. Entretanto, o aplicativo não oferece suporte à especificação OGC como a WCS para possibilitar o intercâmbio dos dados científicos entre ferramentas GIS que oferecem suporte nativamente a esta interface.

Neste sentido, este trabalho consiste em apresentar uma ferramenta computacional que forneça acesso às séries temporais de sensoriamento remoto modelada em uma arquitetura de serviços web por intermédio da especificação *Web Coverage Service 2.0* para retorno dos dados. O principal objetivo desta ferramenta é o intercâmbio dos dados científicos armazenados no banco de dados matricial SciDB com ferramentas GIS de manipulação e visualização de dados espaciais.

2 Revisão da Literatura

2.1. Geo Web Services

Os serviços web (*web services*) apresentam uma maneira eficiente e extensível de fornecer funcionalidades do sistema, pois uma arquitetura orientada a serviços definida pela W3C (<http://www.w3.org/>) promove uma estrutura de interface de programação de aplicativos (API) que possibilita a construção de novos aplicativos.

Conceitualmente, um serviço web é definido pela W3C como um sistema capaz de promover a interoperabilidade entre outros sistemas, comunicando e consumindo os dados através de um padrão. (Newcomer, 2002). Para tal interoperabilidade, os serviços web adotam padrões de documentos para possibilitar a comunicação e o consumo dos dados como, por exemplo, XML (*eXtensible Markup Language*) (<http://www.w3.org/XML/>) para comunicação e consumo dos dados através do protocolo SOAP (*Simple Object Access Protocol*) e JSON (*Javascript Object Notation*) para padrão de documento através do protocolo REST (*Representational State Transfer*) (<http://www.w3.org/2001/sw/wiki/REST>) que mapeia a cadeia de operações na sintaxe de recursos.

Na literatura de serviços web no contexto geoespacial, o *Open Geospatial Consortium* (OGC), uma organização internacional formada por instituições, órgãos governamentais, membros da academia de pesquisa, vêm desenvolvendo e implementando interfaces padronizadas a fim de permitir a interoperabilidade entre os sistemas GIS. Para a OGC, o desenvolvimento orientado a arquitetura de serviços, favorece na criação de módulos atuando em plataformas independentes. Neste sentido, as interfaces OGC são mapeadas em uma estrutura de serviços, fazendo um forte uso do protocolo SOAP e recentemente REST nas especificações futuras. A organização define especificações, tais como *Web Map Service* (WMS), *Web Coverage Service* (WCS), *Web Feature Service* (WFS), *Web*

Coverage Processing Service (WCPS) entre outras, para os quais os serviços precisem se adequar e que a interação entre diversas fontes de dados e informações espaciais sejam facilitadas.

2.2. Web Coverage Service 2.0

A especificação WCS define um mecanismo de acesso a *coverages* espaço-temporais. Uma *coverage* consiste em uma função que dado um domínio geográfico, retorna valores deste domínio em diferentes tempos onde se mede os fenômenos no espaço e no tempo. Esta interface passou por diversas modificações e aprimoramentos ao longo das versões. As versões anteriores como, por exemplo, WCS 1.0, apresentava uma estrutura muito complexa sendo difícil a implementação e recursos escassos, retornando em operações mais complexas *Black Tiles*, conforme apresentado por *Baumann P. (2010)*. Esse problema foi corrigido na versão 1.1.0, porém o documento apresentava diversas páginas apenas citando os problemas anteriores, elevando o grau de complexidade da interface. A versão 2.0 por outro lado, possui uma estrutura modular, composta por diversas extensões de formatos de intercâmbio e operações opcionais conforme apresentado na Figura 1.

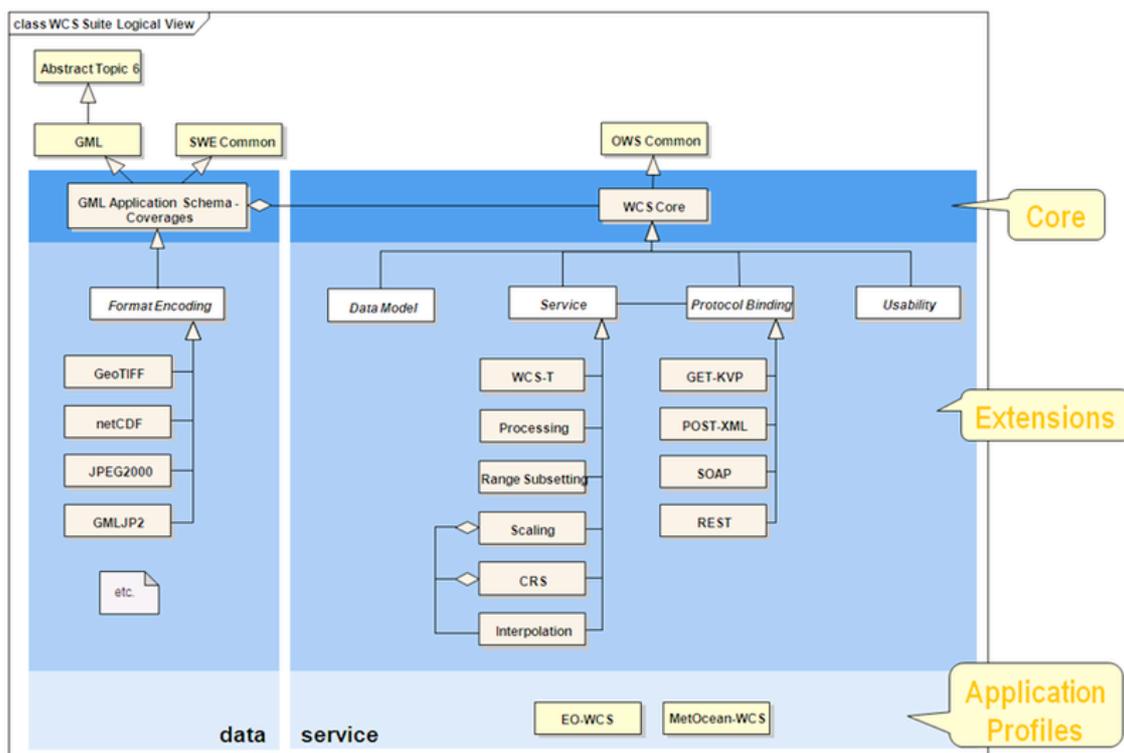


Figura 1. Representação da Arquitetura OGC WCS 2.0
 Fonte: <http://www.opengeospatial.org/standards/wcs>

Na Figura 1, temos o elemento WCS Core na camada “Core” que apresenta uma modelo base do serviço, fornecendo os requisitos e funcionalidades mínimas obrigatórias. As três operações de característica obrigatória são:

- *GetCapabilities* - retorna as *coverages* que o servidor oferece, bem como os metadados de identificação e formatos suportados pelo serviço. Exemplo: <http://inpe.com/ows?service=WCS&request=GetCapabilities;>
- *DescribeCoverage* – recupera os metadados de uma ou mais *coverages*, informando a resolução espaço-temporal de cada *coverage*, suas dimensões e informações de seus respectivos atributos. Exemplo: <http://inpe.com/ows?service=WCS&request=DescribeCoverage&coverageid=mcd43a4;>

- *GetCoverage* - recupera os dados da *coverage* indicada, permitindo realizar operações de recorte no espaço e no tempo. Exemplo: <http://inpe.com/ows?service=WCS&request=GetCoverage&coverageid=mcd43a4&rangesubset=b1,b2,b3>.

Grande parte da camada *Extension* apresentado na Figura 1 está relacionada com a operação *GetCoverage*, como por exemplo, *Format Encoding*, *Range Subsetting*, *CRS*, *Interpolation*, acrescentando um conjunto de funcionalidades sobre a operação.

2.3. Disseminação de séries temporais em sensoriamento remoto

As séries temporais de imagens de sensoriamento remoto permitem, através de ferramentas de visualização e análise, monitorar a superfície terrestre e, avaliar o processo de mudança de uso e cobertura da terra ao longo do tempo. Neste contexto, o Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta (LAF) (<http://www.dsr.inpe.br/laf>), um grupo de pesquisa com conhecimento das áreas de geoinformática, tais como sensoriamento remoto, geografia, biologia entre outros, disponibiliza uma ferramenta chamada “*Series View*”, um ambiente desenvolvido sobre o conceito de um laboratório virtual de sensoriamento remoto apresentado por *Freitas et. al. (2011)* possibilitando a disseminação das séries temporais para a visualização e análise de mudanças de uso e cobertura da terra.

2.4. Banco de dados matriciais - SciDB

Os bancos de dados matriciais (SGBD-M) vêm sendo muito utilizado para aplicações na área da geoinformática como, por exemplo, no armazenamento de imagens de sensoriamento remoto, na área de finanças presente em ferramentas OLAP de visualização e análise (Baumann et al., 1999).

O modelo matricial apresenta uma perspectiva de dimensões dispostas de um conjunto de células que podem conter um conjunto de valores denominados

atributos como, por exemplo, as imagens de sensoriamento remoto que possuem em cada elemento da grade, o valor relativo a uma banda espectral. Uma matriz bidimensional é representada por M linhas x N colunas. Neste projeto, a estrutura é apresentada com três dimensões (X, Y e T), onde os eixos X e Y representam os valores do domínio geográfico e o eixo T representa o intervalo do tempo ao longo da matriz de dados.

Os SGBD-M foram criados para atender principalmente as aplicações científicas que necessitem de operações complexas e analíticas em largas bases de dados. Para Stonebraker (Stonebraker et al., 2011), os bancos de dados relacionais (SGBD-R) possuem problemas em análises e operações complexas para dados que são melhor modelados como matrizes e não em tabelas. Assim, os bancos de dados relacionais para realizar as operações complexas sobre tais dados, realizam o processo de conversão para matrizes, aplicam as operações e convertem novamente para o modelo relacional. Porém, este processo de conversão tem um custo computacional. O modelo matricial, diferentemente do modelo relacional, já trabalha com matrizes, facilitando nas operações de análises complexas e tendo um grande potencial de gerenciamento de imagens de sensoriamento remoto. Para Brown (Brown, 2010), o modelo matricial é recomendável nos domínios científicos onde os requisitos, por exemplo, implicam em operações matriciais tais como matriz transposta, adjacência ou até mesmo interpolação mais próxima entre células.

Neste sentido, o SciDB é um sistema gerenciador de banco de dados matriciais analítico projetado para ser capaz de trabalhar com um grande volume de dados de maneira eficiente (Stonebraker et al., 2011). O SciDB explora o particionamento vertical por atributos da matriz e armazena os dados em uma estrutura denominada *chunks* (bloco de dados) que são dispostos entre diferentes instâncias do cluster de bancos de dados, onde cada servidor controla um armazenamento local próprio. O banco trabalha com um modelo de instâncias denominadas coordenador (*coordinator*) e trabalhador (*worker*). A instância

coordenadora possui um catálogo de referência para todas as instâncias trabalhadoras. Assim, a instância coordenadora é responsável por orquestrar a execução das consultas e toda a comunicação entre o cluster e as aplicações clientes conforme apresentado na Figura 2. Para manipulação e acesso aos dados, o SciDB conta com duas linguagens de alto nível: *Array Functional Language* (AFL) que adota uma estrutura semelhante a declaração de linguagens funcionais e *Array Query Language* (AQL) sendo bem próxima a linguagem SQL.

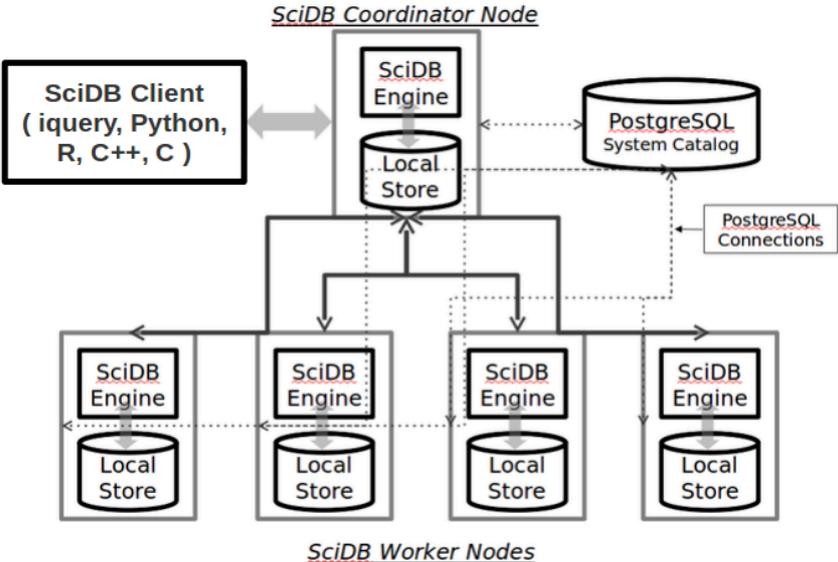


Figura 2. Arquitetura do SciDB
Fonte: <http://www.paradigm4.com>

3 Metodologia

3.1. Ambiente

O serviço foi construído sobre o ambiente Linux CentOS 6.5, atuando com o banco de dados matricial SciDB na versão 14.12 composta por doze instâncias ativas dispostas em cada um dos doze discos em três computadores, sendo uma das instâncias a coordenadora e as demais as trabalhadoras.

3.2. Imagens de sensoriamento do sensor MODIS

Os dados utilizados para a avaliação deste projeto correspondem a um conjunto de imagens provenientes do sensor MODIS (Rudorff et al., 2007) que representa o continente Sul-Americano compreendendo 31 *tiles* da grade MODIS disponível no portal da NASA¹.

Neste projeto, foi utilizado o conjunto de imagens dos dois produtos do sensor MODIS: MOD09Q1, MOD13Q1. O conjunto de imagens produto MOD09Q1 é composto por 21000 imagens de resolução especial de 250 metros, em uma escala de 4800x4800 pixels cada e três bandas espectrais (red, nir, quality) e uma resolução temporal de 8 dias. O produto MOD13Q1 possui 10700 imagens, com resolução temporal de 16 dias, e composta de 12 bandas espectrais (ndvi, evi, quality, red, nir, blue, mir, view, sun, relative, composite, pixel).

3.3. Arquitetura

A arquitetura definida para o desenvolvimento consiste na linguagem Python versão 2.7, no framework web Django versão 1.8 e a API Python nativa do SciDB para conexão e recuperação dos dados do banco e a Terralib versão 5 para conversão de projeções espaciais, conforme apresentado na Figura 3.

¹ http://modis-land.gsfc.nasa.gov/MODLAND_grid.html

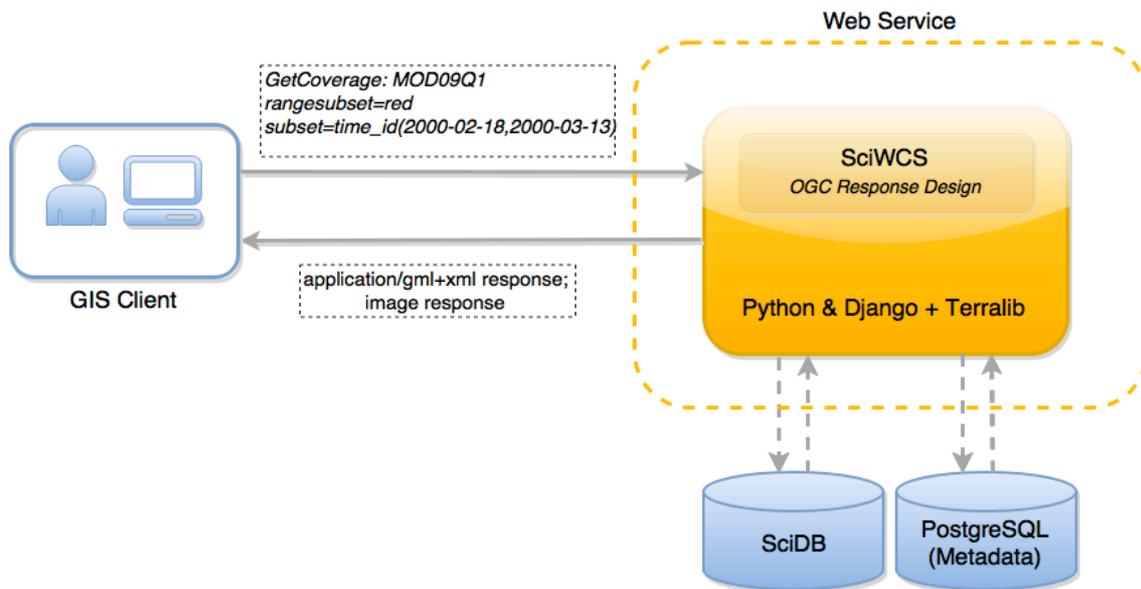


Figura 3. Representação da Arquitetura do SciWCS

Este tipo de arquitetura é conhecido como Cliente/Servidor. Através dos parâmetros informados pelo cliente, o serviço processa e envia comandos na sintaxe AFL para recuperação das séries temporais armazenadas no cluster de banco de dados.

Na Figura 4, é demonstrada a estrutura modelada no diagrama de classe. A ferramenta foi construída fazendo um forte uso da orientação objeto e padrões de projeto a fim de promover uma ferramenta extensível para as aplicações futuras, de modo que na necessidade de outro serviço OGC, basta incluir herança e implementação da classe *OWSFactory* e implementar outro serviço.

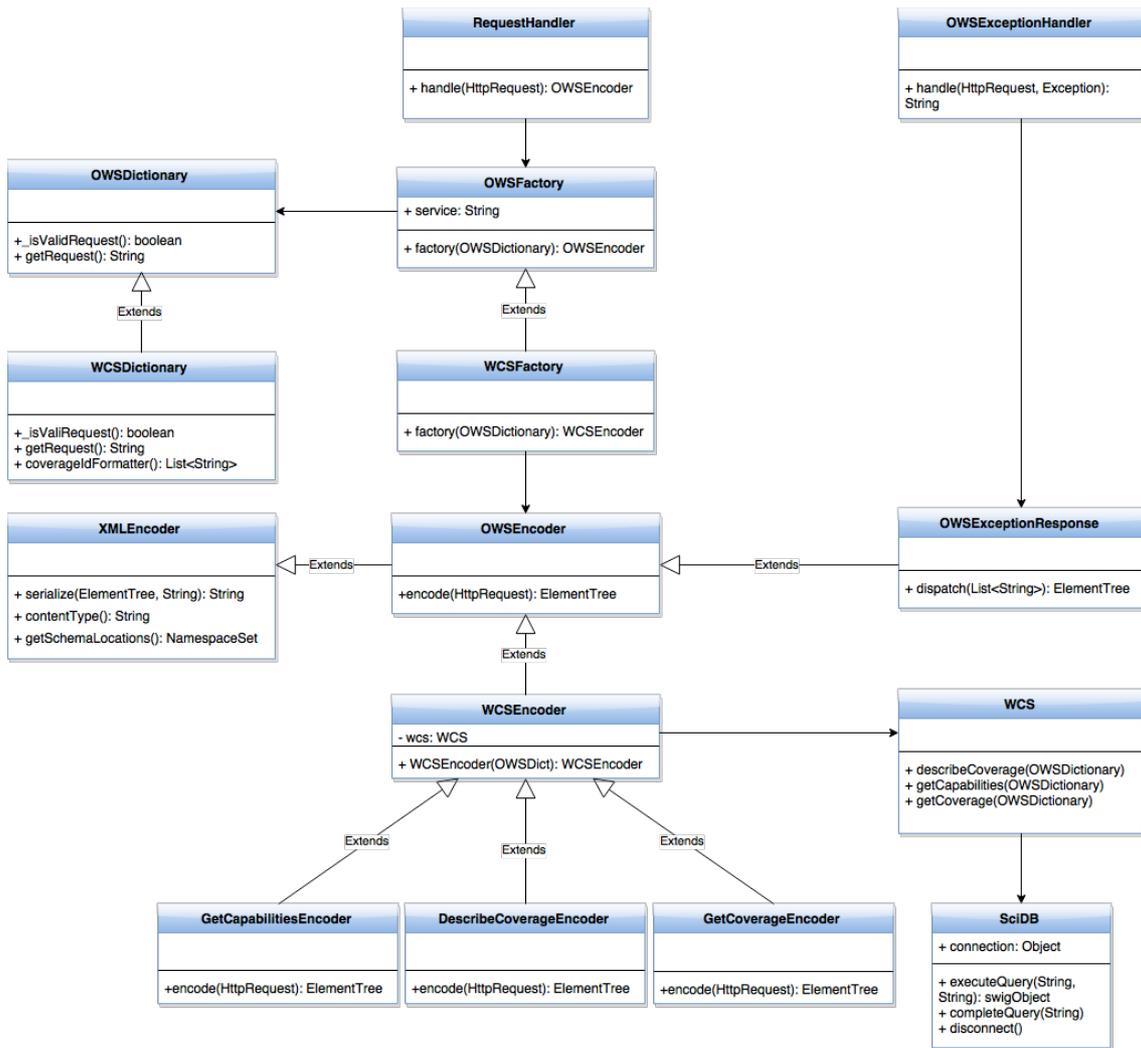


Figura 4. Diagrama de classe da ferramenta SciWCS

Como o SciDB armazena nativamente os metadados em um banco de dados relacional (PostgreSQL), os metadados do serviço, como as definições geográficas também foram armazenados nesse mesmo bancos de dados através da ferramenta ORM (Object-Relational Mapping) presente no Django que permite construir através de modelos um nível de abstração de entidades possibilitando de modo flexível a independência entre banco de dados relacionais, facilitando na manipulação e acesso direto aos dados. Os modelos são convertidos em tabelas como “GeoArray” que representa os produtos e as informações de referência espacial oferecidos, “GeoArrayTimeLine” representa as séries temporais

disponíveis de cada produto e “GeoArrayAttributes” que define as características de cada banda espectral do produto, conforme apresentado na Figura 5.

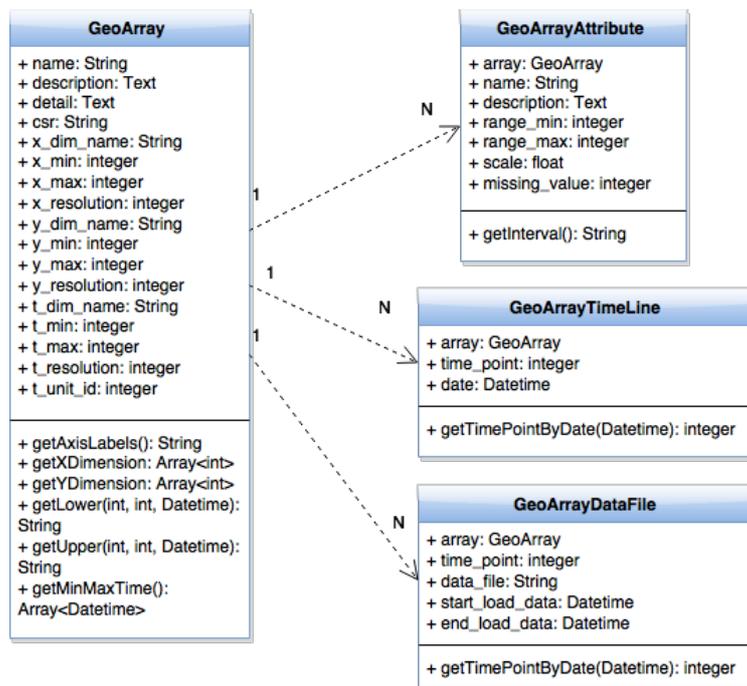


Figura 5. Diagrama de classe dos metadados geoespaciais

O serviço é composto pelas três operações apresentadas na especificação WCS: *GetCapabilities*, *DescribeCoverage* e *GetCoverage*. A operação *GetCapabilities* retorna os metadados do servidor com a lista de *coverages* oferecidas pelo serviço. A Figura 6 demonstra o retorno dos metadados entregue ao cliente pelo servidor no formato XML.

a)	<code>http://www.dpi.inpe.br/scigws/ows?service=WCS&version=2.0.1&request=GetCapabilities</code>
b)	<pre> <wcs:Capabilities xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/wcs/2.0 http://schemas.opengis.net/wcs/2.0/wcsAll.xsd" version="2.0.1"> ... <wcs:Contents> <wcs:CoverageSummary> <wcs:CoverageId>mcd43a4</wcs:CoverageId> <wcs:CoverageSubtype>GridCoverage</wcs:CoverageSubtype> </pre>

	<pre> </wcs:CoverageSummary> <wcs:CoverageSummary> <wcs:CoverageId>mod09q1</wcs:CoverageId> <wcs:CoverageSubtype>GridCoverage</wcs:CoverageSubtype> </wcs:CoverageSummary> <wcs:CoverageSummary> <wcs:CoverageId>mod13q1</wcs:CoverageId> <wcs:CoverageSubtype>GridCoverage</wcs:CoverageSubtype> </wcs:CoverageSummary> <wcs:Extension> ... </pre>
--	---

Figura 6. (a) Exemplo de requisição da operação GetCapabilities; (b) Documento no formato XML obtido através da resposta da operação GetCapabilities

Através desta operação, o cliente tem conhecimento sobre os tipos de projeções, os formatos de dados, bem como as projeções de entrada e saída suportados nativamente e as *coverages* oferecidas pelo serviço. A operação *DescribeCoverage* recupera os metadados de uma ou mais *coverages*, informando a resolução espaço-temporal de cada *coverage*, suas dimensões e informações de seus atributos (Figura 7).

a)	<pre> http://www.dpi.inpe.br/scigws/ows?service=WCS&version=2.0.1&request=DescribeCoverage&coverageID=MOD09Q1 </pre>
b)	<pre> <wcs:CoverageDescription id="mod09q1"> <gml:boundedBy> <gml:Envelope srsName="http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/4326" axisLabels="col_id row_id time_id" srsDimension="3"> <gml:lowerCorner>43200 33600 0</gml:lowerCorner> <gml:upperCorner>71999 71999 3</gml:upperCorner> </gml:Envelope> </gml:boundedBy> </pre>

```

<wcs:CoverageId>mod09q1</wcs:CoverageId>
<gml:domainSet>
...
<swe:DataRecord>
  <swe:field name="quality">
    <swe:Quantity>
      <swe:description>250m          Reflectance          Band
Quality</swe:description>
    <swe:uom>NVDI</swe:uom>
    <swe:constraint>
      <swe:AllowedValues>
        <swe:interval>0 32766</swe:interval>
    ...

```

Figura 7. (a) Exemplo de requisição da operação DescribeCoverage; (b) Representação de um documento no formato XML com os metadados da coverage obtido na operação DescribeCoverage

Com essa operação, o cliente tem conhecimento dos limites geográficos do produto, resolução temporal e as características das bandas espectrais. A operação *GetCoverage* permite recuperar os dados da *coverage* indicada, possibilitando realizar diversas operações de recorte no espaço e no tempo (Figura 8). Esta operação possui um conjunto de parâmetros descritos na Tabela 1. Possíveis parâmetros associados à operação *GetCoverage* presente na interface WCS.

Tabela 1. Possíveis parâmetros associados à operação *GetCoverage* presente na interface WCS

Parâmetro	Descrição	Opcional
request	Tipo da operação a executar. Deve contém valor <i>GetCapabilities</i> para esta operação.	Não
coverageID	Atributo identificador da coverage. Exemplo: "MOD13Q1"	Não

subset	Domínio geográfico e temporal, representados por eixo (valor inicial, valor final). Exemplo: time_id(2000-02-18,2000-03-05)	Sim
rangesubset	Permite recuperar uma ou mais bandas de uma coverage denotada por “,”. O valor padrão representa todas as bandas do produto. Exemplo: rangesubset=red,nir	Sim
inputCRS	Permite informar a projeção de entrada do domínio geográfico	Sim

a)	http://www.dpi.inpe.br/scigws/ows?service=WCS&version=2.0.1&request=GetCoverage&coverageID=MOD13Q1&subset=time_id(2000-02-18,2000-03-05)
b)	<pre> <gml:boundedBy> <gml:Envelope srsName="http://www.opengis.net/def/crs/EPSG/0/4326" axisLabels="col_id row_id time_id" srsDimension="3"> <gml:lowerCorner>43200 33600 0</gml:lowerCorner> <gml:upperCorner>43250 33650 1</gml:upperCorner> </gml:Envelope> </gml:boundedBy> ... <gml:rangeSet> <gml:DataBlock> <gml:tupleList cs=" " ts=",">15 3232 4431 3066 3947 181 4286 3844 2122 1326 235 365, 54 4648 4430 4525 2097 353 4139 4001 3359 4801 4338 1588, 0 3566 2093 789 4654 4114 3871 1934 1486 3999 4983 437 ... </pre>

Figura 8. (a) Exemplo de requisição da operação GetCoverage; (b) Documento no formato XML com as séries temporais obtida através da operação GetCoverage

A Figura 8 demonstra um exemplo na recuperação dos dados no formato padrão *application/gml+xml*. Os valores dispostos dentro do elemento *gml:tupleList*, correspondem a série temporal respectivo de cada banda delimitada pelo atributo “cs” contido no elemento ao longo grade delimitado pelo atributo “ts”. Um detalhe importante é os valores informados através do parâmetro “subset”, que define solicitar porções da *coverages* a partir do domínio geográfico e temporal referente a valores de latitude e longitude. Uma vez que os valores sejam passados, os mesmos são interpretados na projeção nativa suportada pelo serviço, no caso WGS84 (<http://spatialreference.org/ref/epsg/wgs-84/>), onde o lat/long são convertidos para valores na grade MODIS. A lista de projeções que o serviço suporta pode ser encontrada na operação *GetCapabilities*. Neste sentido, o usuário pode fazer uso do parâmetro *inputCRS* onde o valor consista em um sistema de referência espacial suportado pelo serviço.

3.4. Considerações Finais

A especificação WCS 2.0 apresenta uma arquitetura extensível, tendo o modelo base denominado *WCS Core*, descrevendo as operações mínimas obrigatórias da interface, e o modelo de extensões que possibilita a implementação de funcionalidades sobre o modelo base, demonstrando uma estrutura escalável. Inclusive, a versão 2.0 possui suporte para trabalhar nativamente com dados n-dimensional, encaixando no contexto de imagens de sensoriamento multidimensional. Por outro lado, devido a especificação ser recente e apresentar uma mudança extrema na arquitetura se comparado a versões anteriores faz com que várias ferramentas GIS que até então, não adotaram esta nova versão, não suportarem este modelo, embora seja necessário uma questão de tempo para que as ferramentas GIS comportem esta interface devido que as versões anteriores foram depreciadas, conforme apresentado na seção “*Deprecated OGC Standards*” presente no portal OGC (<http://www.opengeospatial.org/standards/wcs>).

4 Experimentos e resultados

4.1. Visualização das séries temporais no QGIS

Para avaliação e visualização das séries temporais no Quantum GIS, foi desenvolvido um *plugin* denominado *WCSViewer*. Este *plugin* faz uso da biblioteca *matplotlib* escrita em Python, para a geração dos gráficos. A partir de uma url correspondente do serviço, a ferramenta se conecta no destino, despacha uma requisição no servidor de destino, solicitando pela operação *GetCapabilities*.

Nesta ferramenta, é possível informar um conjunto de campos, tais como selecionar as *coverages* disponíveis a partir da url do serviço informado na Figura 9, alcance geográfico, limite temporal e as bandas a ser apresentadas no gráfico. Conforme mostrado na Figura 9, a série temporal referente à banda *quality* da *coverage* MOD09Q1.

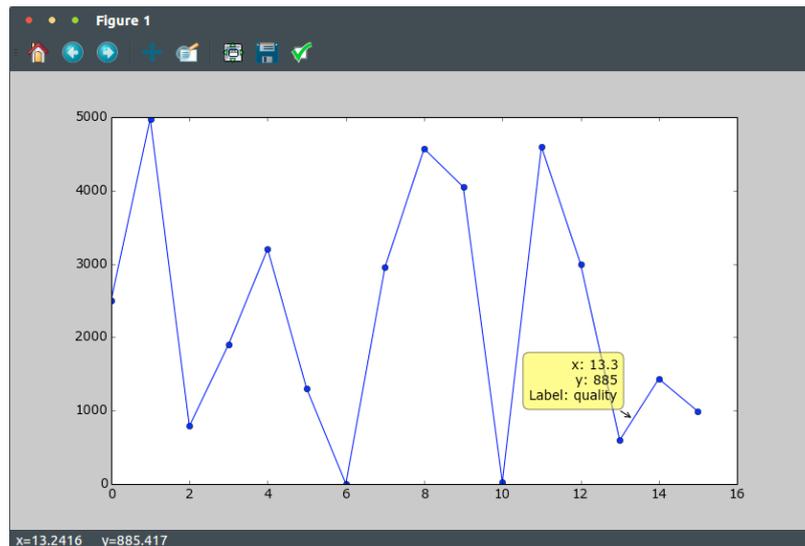


Figura 9. Apresentação do Plugin WCSViewer e as séries temporais no QGIS

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou o projeto e desenvolvimento de uma ferramenta computacional baseada na arquitetura de serviços web para intercâmbio de dados contidos no SciDB com as ferramentas SIG através da interface OGC WCS 2.0. Esta interoperabilidade é de grande importância para a comunidade de sensoriamento remoto, que utilizam os SIGs nos mais diversos tipos de estudos.

Através do experimento de integração com o QGIS, o plugin WCSViewer, demonstrou-se a facilidade no uso e criação de novos produtos fazendo uso da especificação WCS 2.0 para disseminação dos dados científicos.

Com relação à arquitetura empregada, o SciDB mostrou um grande potencial para armazenamento das séries temporais. A API Python de conexão com o banco apresentou estabilidade ao longo do projeto.

Embora a especificação OGC WCS 2.0 tenha se mostrado eficiente para intercâmbio dos dados, existe um longo caminho para que as atuais ferramentas SIG adotem esta versão da especificação. Neste aspecto, uma das direções futuras de trabalho consiste no desenvolvimento desta funcionalidade para os aplicativos TerraView e QGIS.

O protótipo desenvolvido ainda necessita de testes adicionais e melhorias de estabilidade, além do desenvolvimento de mais operações previstas na especificação WCS como extensões, denominadas *Interpolation*, para aplicação de algoritmos de interpolação nas células da grade matricial, e suporte aos demais formatos de saída de dados, como TIFF.

Outra linha de trabalho futuro consiste em avaliar a especificação WCPS (Web Coverage Processing Service) para processamento das *coverages*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Newcomer E 2002. **Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP and UDDI**. Indianapolis, IN, Addison-Wesley Professional.

Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007.

Baumann, P.; Dehmel, A.; Furtado, P.; Ritsch, R.; Widmann, N. **Spatio-Temporal Retrieval with RasDaMan**. 25th VLDB Conference, Edinburgh, Scotland, 1999.

Baumann, P. **Beyond Rasters: introducing the new OGC Web Coverage Service 2.0**. SIGSPATIAL, 2010, pp. 320-329

STONEBRAKER, M.; BROWN, P.; POLIAKOV, A.; RAMAN, S. **The architecture of SciDB**. In **Proceedings of the 23rd international conference on Scientific and statistical database management (SSDBM'11)**, Judith Bayard Cushing, James French, and Shawn Bowers (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011, 1-16

Fuller, D. O. **Trends in ndvi time series and their relation to rangeland and crop production in senegal, 1987- 1993**. International Journal of Remote Sensing, v. 19, n. 10, p. 2013–2018, 1998

BROWN, P., G. **Overview of SciDB: large scale array storage, processing and analysis**. In: ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 2010. Proceeding... ACM, New York, NY, USA, 2010. P. 963-968.

QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, K. R.; VINHAS, L.; CÂMARA, G.; COSTA, R. W.; SOUZA, R. C. M.; MAUS, V. W.; SANCHEZ, A. **WTSS: um serviço web para extração de séries temporais de imagens de sensoriamento remoto**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015.

Li, J.; Rowland, J.; Tappan, G.; Tieszen, L. L., 2004. **Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series**. Journal of Arid Environment, 59 (3), 463-480.