



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/09.28.17.12-TDI

## COMPOSIÇÃO AUTOMATIZADA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS BASEADA EM REQUISITOS DE QUALIDADE DE GEODADOS

Sérgio Aparecido Braga da Cruz

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada, orientada pelos Drs. Antonio Miguel Vieira Monteiro, e Rafael Santos, aprovada em 24 de outubro de 2011.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3AGKD8B>>

INPE  
São José dos Campos  
2011

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**

### **Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

### **Membros:**

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr<sup>a</sup> Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/09.28.17.12-TDI

## COMPOSIÇÃO AUTOMATIZADA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS BASEADA EM REQUISITOS DE QUALIDADE DE GEODADOS

Sérgio Aparecido Braga da Cruz

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada, orientada pelos Drs. Antonio Miguel Vieira Monteiro, e Rafael Santos, aprovada em 24 de outubro de 2011.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3AGKD8B>>

INPE  
São José dos Campos  
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Cruz, Sérgio Aparecido Braga da.  
C889c      Composição automatizada de serviços geográficos baseada em requisitos de qualidade de geodados / Sérgio Aparecido Braga da Cruz. – São José dos Campos : INPE, 2011.  
xx + 105 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/09.28.17.12-TDI)

Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

Orientadores : Drs. Antonio Miguel Vieira Monteiro, e Rafael Santos.

1. Composição de serviços geográficos. 2. Arquitetura Orientada a Serviços (SOA). 3. Serviços Web. 4. Planejamento em IA. I. Título.

CDU 004.75

---

Copyright © 2011 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 com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 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 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.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de Doutor(a) em  
Computação Aplicada

Dr. Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar



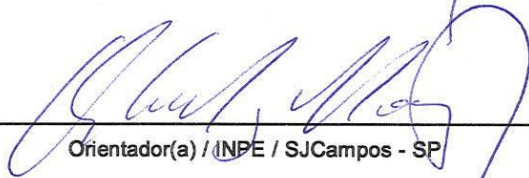
Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. João Ricardo de Freitas Oliveira



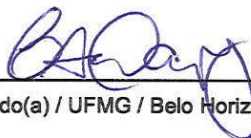
Vice-Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Clodoveu Augusto Davis Junior



Convidado(a) / UFMG / Belo Horizonte - MG

Dra. Karla Donato Fook



Convidado(a) / IFM / São Luís - MA

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

unanimidade

Aluno (a): Sérgio Aparecido Braga da Cruz

São José dos Campos, 24 de outubro de 2011



*A meu pai Aristoteles*





## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Prof. Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro e Prof. Dr. Rafael Santos, pela paciência, disposição, apoio e confiança na minha capacidade para realização deste trabalho.

A meu filho Davi e a minha esposa Marta pela compreensão e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho. A meu filho Tiago pelo companheirismo nas longas noites de estudo. A meus pais, Aristoteles (*in memoriam*) e Eny, por todo amor e dedicação, e por formarem a base a partir da qual tudo foi possível. A meus irmãos Fábio e Cláudia pela compreensão e amizade. A meus sogros Anna e Gildo sempre dispostos a ajudar no que fosse possível.

À Embrapa, pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Aos meus colegas da Embrapa Informática pelo apoio e torcida. Em especial à Carla pelo incentivo e apoio nas revisões. Ao João Vila pelas oportunidades e ajuda.

Ao grupo TWSG do DPI-INPE, Emerson, Karla e Vanessa pelas discussões e reuniões enriquecedoras. Ao Gilberto Ribeiro pelos comentários sempre pertinentes, conversas e ajuda. Ao grupo GEOPRO pelo suporte durante o desenvolvimento do trabalho. Aos professores do DPI e CAP e ao curso da CAP/INPE pela oportunidade de enriquecimento acadêmico que possibilitou a realização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para que eu pudesse realizar este trabalho.



## RESUMO

A Arquitetura Orientada a Serviços representa um novo paradigma para desenvolvimento de aplicações em geoprocessamento, possibilitando o compartilhamento de recursos computacionais entre instituições em um ambiente de computação distribuído. A implementação dessas aplicações pode ser realizada através da composição de serviços, que consiste no procedimento de agregação de funcionalidades implementadas por serviços componentes disponíveis nesse ambiente. A modelagem do problema de construção automatizada de composições como um problema de planejamento em Inteligência Artificial (IA) é uma das abordagens propostas na literatura visando a utilização otimizada destes serviços componentes. No contexto de geoprocessamento, no entanto, as soluções propostas utilizando esta linha resultam em composições de serviços que, em certas condições, podem gerar resultados de baixa qualidade. Um fator causador desta baixa qualidade está relacionado com a falha no atendimento das condições mínimas de uso de um dado espacial, ou geodado, por um serviço. Estas condições representam requisitos de qualidade de geodados e descrevem características que devem ser atendidas pelos geodados para que eles possam ser utilizados adequadamente por uma operação sobre um dado espacial. A ocorrência de não conformidades com os requisitos de qualidade é imprevisível, e depende das características individuais de cada uma das instâncias de dados trocadas dentro de uma composição de serviços. A complexidade e natureza dos geodados ressaltam os efeitos destas não conformidades e têm um impacto importante nos resultados de atividades de geoprocessamento. Neste trabalho é proposto a incorporação de requisitos de qualidade de dados para a automação da construção de composições baseadas em métodos de planejamento em IA, de modo a minimizar o impacto da qualidade dos dados nos resultados gerados a partir das composições de serviços.



# AUTOMATED COMPOSITION OF GEOSPATIAL SERVICES BASED ON GEODATA QUALITY REQUIREMENTS

## ABSTRACT

Service-Oriented Architecture represents a new paradigm for development of GIS applications, allowing the sharing of computational resources between institutions in a distributed computing environment. The implementation of these applications can be accomplished by building service compositions, which consist in the procedure for the aggregation of functionalities implemented by component services available in this environment. The modeling of the problem of automated construction of compositions as a planning problem in Artificial Intelligence (AI) is one of the approaches proposed in the literature aimed at optimizing the use of these component services. However, in the GIS context, the compositions built using these proposals, in certain conditions, can produce low quality results. One reason that we identify as the cause of this low quality is related to failure to comply with the minimum requirements for the use of a geodata for a service. These quality requirements describe geodata characteristics that must be met by the geodata allowing it to be used adequately by a GIS functionality. The occurrence of nonconformities with the quality requirements are unpredictable and it depends of quality conditions of each geodata instance exchanged within a service composition. The geodata complexity and nature highlight the consequences of these nonconformances and have a major impact on the results of GIS activities. In this work we propose how to incorporate the data quality requirements into mechanisms for automated building of compositions based on planning method in AI, to minimize the loss of data quality in the results produced by service compositions.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Elementos principais da ontologia OWL-S. . . . .	11
2.2 Elementos da classe <i>Profile</i> da ontologia OWL-S. . . . .	12
2.3 Representação semântica de serviços. . . . .	13
2.4 Exemplos de representação implícita da capacidade funcional de serviços utilizando propriedades <i>IO</i> e <i>IOPE</i> . . . . .	14
2.5 Procedimento para composição de serviços baseado na equivalência entre tipos de dados. . . . .	17
2.6 Serviços produtor e consumidor de dados. . . . .	18
2.7 Níveis de compatibilidade entre tipos de dados. . . . .	19
3.1 Ontologia de Requisitos de Qualidade. (a) regras primárias; (b) trecho da ontologia de atributos; (c) regra derivada. . . . .	36
3.2 Ontologia de atributos. (a) trecho da ontologia de atributos não-espaciais; (b) trecho da ontologia de atributos espaciais. . . . .	38
3.3 Ontologia de tipo de geodados. (a) tipos de geodados; (b) tipos de parâ- metros. . . . .	39
3.4 Tipo de geodado <i>SpatialRate</i> . . . . .	40
3.5 Exemplo de uso de cálculo de taxa. (a) cálculo da taxa; (b) mapa. . . . .	40
3.6 Uso de tipos parametrizados. (a) tipos de geodados parametrizados; (b) descrição de serviços com tipos parametrizados. . . . .	42
3.7 Esquema básico dos elementos de um plano condicional. . . . .	44
3.8 Derivação de elementos do plano de execução de serviços a partir dos requisitos de qualidade. . . . .	46
3.9 Procedimento para composição de serviços baseado em requisitos de qua- lidade de geodados. . . . .	48
4.1 Sistema para composição de serviços geográficos. . . . .	52
4.2 Especificação de tipos de geodados. (a) linguagem para especificação de tipos de dados; (b) exemplo de especificação de tipo <i>SpatialRate</i> . . . . .	53
4.3 Interface do protótipo. . . . .	54
4.4 Visualização de arquivo WS-BPEL. . . . .	55
4.5 Especificação de meta para composição para <i>Mapa de ISNA</i> . . . . .	57
4.6 Composição <i>Mapa de ISNA</i> não-robusta. . . . .	58
4.7 Composição <i>Mapa de ISNA</i> robusta. . . . .	60

4.8	Especificação de meta de composição para cálculo de <i>NDVI</i> . . . . .	62
4.9	Composição robusta para cálculo de <i>NDVI</i> . . . . .	64
4.10	Especificação de meta de composição para cálculo do <i>Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Aftosa</i> . . . . .	65
4.11	Composição robusta para o <i>Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Aftosa</i> . . . . .	69
4.12	Composição robusta para o <i>Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Aftosa</i> com cache de dados. . . . .	70



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Comparação de abordagens para Composição de Serviços . . . . .	15
2.2 Níveis de compatibilidade entre tipos de dado. . . . .	20
3.1 Conceitos e Indicadores de Qualidade de Geodados . . . . .	32
3.2 Não-conformidades e ações de mitigação . . . . .	44
3.3 Descrição semântica <i>IOPE</i> de serviços baseada em condições de qualidade dos dados . . . . .	47
4.1 Serviços usados na composição para o cenário de uso <i>Mapa de ISNA</i> . . .	56
4.2 Regras de requisitos de qualidade de geodados para <i>Mapa de ISNA</i> . . .	59
4.3 Serviços usados na composição para o cenário de uso <i>NDVI</i> . . . . .	61
4.4 Serviços usados na composição para o cenário de uso <i>Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Aftosa</i> . . . . .	66
4.5 Regras de requisitos de qualidade de geodados para <i>Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Aftosa</i> . . . . .	66



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI	–	<i>Artificial Intelligence</i>
API	–	<i>Application Programming Interface</i>
AVHRR	–	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
CNAE	–	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CSR	–	<i>Complete Spatial Randomness</i>
DL	–	<i>Description Language</i>
GIS	–	<i>Geographic Information System</i>
HTN	–	<i>Hierarchical Task Network</i>
IA	–	Inteligência Artificial
IO	–	<i>Input e Output</i>
IOPE	–	<i>Input, Output, Precondition e Effect</i>
ISNA	–	Índice de Satisfação da Necessidade de Água
ISO	–	<i>International Organization for Standardization</i>
NAICS	–	<i>North American Industry Classification System</i>
NDVI	–	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NOAA	–	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OWL	–	<i>Web Ontology Language</i>
OWL-S	–	<i>Web Ontology Language for Services</i>
PE	–	<i>Precondition e Effect</i>
RDF	–	<i>Resource Description Framework</i>
RDFS	–	<i>Resource Description Framework Schema</i>
QoS	–	<i>Quality of Service</i>
SIG	–	Sistema de Informação Geográfica
SOA	–	<i>Service-Oriented Architecture</i>
SOAP	–	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SPARQL	–	<i>SPARQL Protocol and RDF Query Language</i>
STRIPS	–	<i>Stanford Research Institute Problem Solver</i>
SWRL	–	<i>Semantic Web Rule Language</i>
UDDI	–	<i>Universal Description Discovery and Integration</i>
URI	–	<i>Uniform Resource Identifiers</i>
W3C	–	<i>World Wide Web Consortium</i>
WSA	–	<i>Web Services Architecture</i>
WSDL	–	<i>Web Service Description Language</i>
WSMO	–	<i>Web Service Modeling Ontology</i>
WS-BPEL	–	<i>Web Services Business Process Execution Language</i>



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Definição do problema . . . . .	3
1.2 Hipótese, Objetivo e Contribuição Principal . . . . .	5
1.3 Estrutura da Tese . . . . .	6
<b>2 COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS WEB</b> . . . . .	<b>7</b>
2.1 Composição de Serviços como Problema de Planejamento . . . . .	9
2.1.1 Representação Semântica de Serviços . . . . .	10
2.1.2 Semântica Funcional de Serviços . . . . .	12
2.2 Encadeamento de Serviços Web . . . . .	18
2.2.1 Equivalência Funcional de Serviços baseado em propriedades <i>IO</i> . . . . .	19
2.2.1.1 Limitações da Restrição de Tipo . . . . .	21
2.2.2 Proposta . . . . .	23
<b>3 COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS WEB BASEADA EM REQUISITOS DE QUALIDADE DE GEODADOS</b> . . . . .	<b>25</b>
3.1 Qualidade de Geodados . . . . .	25
3.1.1 Qualidade de Geodados aplicada na Descrição Semântica de Serviços . . . . .	28
3.1.2 Requisitos de Qualidade de Geodados . . . . .	29
3.1.3 Descrição Semântica de Requisitos de Qualidade de Geodados . . . . .	32
3.1.3.1 Linguagem OWL . . . . .	33
3.1.3.2 SWRL . . . . .	34
3.2 Descrição Semântica de Tipos de Geodados . . . . .	36
3.3 Composição automatizada baseada em Requisitos de Qualidade de Geodados . . . . .	41
<b>4 PROVA DE CONCEITO E CENÁRIOS DE USO</b> . . . . .	<b>51</b>
4.1 Cenários de Uso . . . . .	55
4.1.1 Cenário de Uso <i>Mapa de ISNA</i> . . . . .	56
4.1.2 Cenário de Uso <i>NDVI</i> . . . . .	61
4.1.3 Cenário de Uso <i>Febre Aftosa</i> . . . . .	65

<b>5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE A - BASE DE CONHECIMENTO PARA CENÁRIOS DE USO . . . . .</b>	<b>87</b>
A.1 Ontologia de Conceitos de Qualidade de Dados . . . . .	87
A.2 Regras de Requisitos de Qualidade . . . . .	96
A.3 Descrição de Serviços . . . . .	97

## 1 INTRODUÇÃO

A percepção da importância das informações geograficamente referenciadas no planejamento e no controle da execução das atividades humanas vem causando um aumento na demanda por tecnologias de geoprocessamento nas mais diferentes áreas. Uma grande evolução tecnológica para suportar esta demanda ocorreu, desde o desenvolvimento das aplicações precursoras da análise de problemas de saúde pública relativos ao cólera por John Snow em 1854 (FRERICHS, 2001) até os serviços atuais de auxílio a navegação e acesso a dados georreferenciados pelo público em geral por meio de dispositivos móveis e Web.

A automação efetiva das atividades de tratamento de dados georreferenciados iniciou-se a partir da década de 70, com o desenvolvimento de computadores de melhor capacidade de armazenamento e processamento, e do amadurecimento da fundamentação matemática para análise de dados georreferenciados. A popularização dos computadores, consequência da redução do seu custo ocorrida durante a década de 80, promoveu uma expansão do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) desenvolvidos na forma de sistemas monolíticos em aplicações *desktop* capazes de realizar operações de armazenamento, recuperação, processamento e análise de dados georreferenciados ou geodados (CÂMARA et al., 2004). Esses sistemas propiciam ao usuário final um acesso local às funcionalidades de geoprocessamento e aos geodados. Entretanto, impõem um limite de capacidade de geoprocessamento proporcional aos recursos computacionais disponíveis.

O surgimento dos SIGs multiusuário permitiu um maior compartilhamento da base de geodados, ampliando o acesso às funcionalidades de análise e geoprocessamento em nível de rede local. Apesar de propiciar um acesso padronizado, o repertório de funcionalidades permanece restrito à implementação do SIG. A criação da Web possibilitou o acesso remoto a um número crescente de funcionalidades de geoprocessamento e de geodados, porém com interface dependente de cada aplicação. A definição de padrões e protocolos para intercâmbio e processamento de geodados possibilitou o uso mais eficiente desse ambiente distribuído para fins de geoprocessamento (PERCIVALL, 2003). O uso desses padrões juntamente com a arquitetura orientada a serviços ou *Service-Oriented Architecture* (SOA) (ERL, 2004), fornece os princípios básicos para uma nova forma de construção de aplicações de geoprocessamento em ambiente distribuído, onde funcionalidades são implementadas como serviços, os quais apresentam interface formalmente definida e acessível por proto-

colos padronizados de comunicação.

No contexto de geoprocessamento, os serviços possibilitam o acesso padronizado e controlado aos geodados e aos procedimentos de geoprocessamento e de análise espacial, independentemente de sua localização geográfica e do ambiente computacional da sua instituição provedora. Aplicações de geoprocessamento podem ser implementadas nessa arquitetura por meio da combinação desses serviços. Linguagens para especificação de processos, como a linguagem *Web Services Business Process Execution Language* (WS-BPEL) (ALVES et al., 2007), permitem a construção manual dessas composições de serviços. Esta construção envolve as atividades de localização dos serviços mais adequados para realização das tarefas requisitadas pelo processo e a criação de mecanismos para invocação dos serviços componentes e para conversão dos dados trocados entre os serviços. Porém, à medida que o número de serviços componentes disponíveis cresce, mais difícil se torna o processo de construção manual. As atividades de localização, seleção e integração dos serviços componentes se tornam mais complexas.

Métodos de planejamento em Inteligência Artificial (IA) são utilizados por linhas de pesquisa que visam automatizar o processo de composição (RAO; SU, 2005). De modo geral, um problema de planejamento clássico em IA pode ser visto como a definição de um conjunto finito de ações aplicáveis a um modelo de ambiente, descrito por um conjunto de estados discretos, visando a modificação de seu estado inicial para um estado final ou meta. Cada ação possui pré-condições para sua execução, e provoca uma modificação no estado do modelo (RAO; SU, 2005; LAVALLE, 2006; RUSSELL; NORVIG, 2003). No contexto do problema de composição, os serviços são modelados como ações, e os tipos de dados dos parâmetros de entrada e de saída dos serviços como estados possíveis dentro do problema de planejamento (CARMAN et al., 2003). Uma composição de serviços corresponde a um plano de invocações coordenadas dos serviços que ao final, produzem os dados desejados. O modelo do ambiente corresponde ao ambiente de execução da composição. Os tipos de dados de entrada e de saída de um serviço definem implicitamente a semântica da sua funcionalidade, indicando a sua capacidade de transformação de estado (SIRIN et al., 2004; MARTIN et al., 2007). No contexto desta tese assume-se que cada serviço realiza somente uma operação e, desta forma, possui somente uma única semântica funcional derivada daquela operação.

A construção de uma composição de serviços é realizada por um procedimento ori-



entado por meta capaz de gerar um plano de execução de serviços a partir da especificação do tipo de dado a ser produzido (meta), e de uma base de conhecimento descrevendo a semântica funcional dos serviços componentes. Nesse procedimento recursivo, cada passo da interação realiza a descoberta e seleção de serviços que atendem às necessidades de tipos de dados intermediários e finais de uma composição. A avaliação da compatibilidade entre um tipo de dado gerado por um serviço e aquele requisitado na composição é realizada no nível semântico. Na implementação deste procedimento utilizando o método de planejamento clássico, assume-se que a execução de um serviço gera de maneira determinística uma instância do tipo de dado requisitado na composição. Podemos encontrar na literatura de IA métodos para geração de planos mais robustos, os quais assumem que o resultado da execução de uma ação pode não ser o esperado. No método planejamento condicional limitado, os resultados de uma ação, apesar de não determinísticos, podem ser enumerados e avaliados durante a execução do plano de modo a propiciar a execução de ações alternativas objetivando atingir o resultado esperado (RUSSELL; NORVIG, 2003).

Várias propostas para composição automatizada de serviços baseada em técnicas de planejamento de IA podem ser encontradas na literatura (SIRIN et al., 2004; YE; CHEN, 2006; CONSTANTINESCU et al., 2005; DONG et al., 2007; KO et al., 2008; CHAFLE et al., 2007). Lemmens et al. (2006) e Yue et al. (2007) apresentam adaptações dessas abordagens de composição para o contexto de geoprocessamento. Nessas propostas, a semântica funcional dos serviços é descrita implicitamente ou de forma explícita, associando o serviço a uma taxonomia de funcionalidades (SIRIN et al., 2004; SYCARA et al., 2003; YUE et al., 2007). Essas descrições semânticas são apoiadas em ontologias, modelos semânticos que representam de forma estática os relacionamentos entre os conceitos associados às descrições dos serviços e dos tipos de dados. Este tipo de abordagem apresenta limitações quando utilizado na construção de composições para tratamento de dados de maior complexidade semântica, tais como aqueles encontrados em geoprocessamento. A cada tipo de dado esta associado um grande número de instâncias de dados, cuja utilização por uma determinada atividade de geoprocessamento é dependente de critérios qualitativos.

## 1.1 Definição do problema

A construção automatizada de composições baseadas em um modelo semântico das características estáticas dos serviços geográficos e dos geodados resulta em composições que podem gerar resultados de baixa qualidade para aplicações reais. Apesar

dos planos de execução de serviços gerados serem consistentes, ou mesmo otimizados, podem estar sujeitos à utilização de dados inadequados durante o tempo de execução.

Condições individuais dos geodados encontradas durante a execução de uma composição de serviços podem inviabilizar ou comprometer os resultados produzidos por procedimentos de geoprocessamento e análise espacial. Imagens de sensoriamento com presença de nuvens, imagens obtidas com configurações inapropriadas dos ângulos do sensor, ou capturadas de regiões com alto grau de inundação, medidas climáticas incompletas ou insuficientes são exemplos de tais condições. A presença dessas características inadequadas pode ser um resultado inerente ao processo de produção do geodado. Porém, a construção de novas composições de serviços define, dinamicamente, contextos não previstos de uso de um geodado e também propicia o surgimento dessas características. A aplicabilidade de procedimentos de análise espacial, geoprocessamento e sensoriamento remoto depende de cada contexto de uso do geodado. Características climáticas, hidrológicas e fitofisionômicas restringem e impõem adaptações na realização de procedimentos de análise. Nesta tese, considera-se que a incompatibilidade entre as características de uma instância de geodado e as restrições de uso definidas por um procedimento são fatores que determinam uma baixa qualidade dos resultados produzidos por uma composição de serviços geográficos, ou seja, eles não representam adequadamente a realidade geográfica (DEVILLERS et al., 2007).

O presente trabalho apresenta uma nova abordagem para desenvolvimento de aplicações de geoprocessamento, baseada na construção automatizada de composições de serviços geográficos capazes de tratar estas incompatibilidades. Características relevantes para avaliação da usabilidade de um geodado por um determinado procedimento de análise são modeladas como atributos de qualidade. Esses atributos permitem a construção de regras para descrição semântica de requisitos de qualidade de dados, as quais devem ser respeitadas para que ocorra a execução bem sucedida de cada serviço participante da composição e, conseqüentemente, de toda a composição. As regras permitem a seleção de serviços mais adequados e a geração de informações subsidiando uma auditoria sobre a execução da composição de serviços. Desta forma, possibilitam uma avaliação da qualidade dos geodados produzidos. Os atributos e regras baseadas em conceitos de qualidade refletem o conhecimento sobre as características dinâmicas da interação entre os serviços de uma composição.

Uma base de conhecimento formada por regras de requisitos de qualidade, atributos de qualidade e algoritmos especializados, implementados na forma de serviços, possibilita o registro e reuso de conhecimento sobre uma determinada região.

## **1.2 Hipótese, Objetivo e Contribuição Principal**

Neste trabalho assumimos que os geodados e as funcionalidades de geoprocessamento e análise espacial estão disponíveis na forma de serviços. Descrições semânticas dos serviços estão registradas em uma base de conhecimento, de modo a permitir a sua localização, seleção e utilização. Neste contexto observamos que a construção automatizada de composições de serviços gera resultados pouco robustos quanto a variação da qualidade dos geodados processados e que produzem como consequência geodados de qualidade não confiável. Para aumentar a qualidade e a confiabilidade dos resultados produzidos por composições geradas de maneira automatizada consideraremos as seguintes hipóteses:

- a) A avaliação da possibilidade de interação entre serviços produtores e consumidores de geodados de uma composição baseada na compatibilidade entre os seus tipos de dados dos parâmetros de entrada e saída pode ser realizada de maneira mais precisa, utilizando regras de requisitos de qualidade de geodados do serviço consumidor. Os tipos de dados e as regras de requisitos definem restrições de interação entre serviços produtores e consumidores de geodados.
- b) Restrições baseadas em requisitos de qualidade de geodados associadas à modelagem do problema de composição, tratado como um problema de planejamento condicional, permitem a geração de composições de serviços geográficos mais robustas, capazes de identificar e tratar as incompatibilidades entre a qualidade dos dados disponíveis e a requisitada por um procedimento de geoprocessamento e análise espacial.

O objetivo principal desta tese é:

- Propor e avaliar um novo método para automação da composição de serviços geográficos, capaz de produzir resultados mais robustos, utilizando um modelo para incorporação de requisitos de qualidade de geodados.

Para isto os seguintes objetivos específicos deverão ser cumpridos:

- Definir um modelo para representação e avaliação de requisitos de qualidade de geodados.
- Definir método para composição automatizada de serviços geográficos utilizando o modelo.
- Comparar composições de serviços obtidas sem e com o uso dos requisitos de qualidade.

Esta tese contribui, em termos metodológicos, para o aperfeiçoamento das soluções existentes na literatura para composição automatizada de serviços geográficos, fornecendo um modelo para tratamento de requisitos de qualidade de geodados. A utilização deste modelo promove a produção de composições mais robustas e capazes de gerar geodados de melhor qualidade. Esta maior robustez permite que a metodologia proposta possa ser utilizada como uma ferramenta de apoio ao especialista em geoprocessamento, capaz de auxiliá-lo no desenvolvimento de processos geográficos reais implementados sobre a arquitetura SOA.

### **1.3 Estrutura da Tese**

O Capítulo 2 desta tese apresenta os elementos básicos para a construção automatizada de uma composição de serviços geográficos. Os princípios para representação semântica de serviços e de geodados são apresentados e avaliados. As bases de uma nova abordagem para composição de serviços são apresentadas no final do capítulo.

No Capítulo 3 a abordagem proposta é apresentada em detalhes. Os elementos para representação de requisitos de qualidade de geodados e o seu uso na construção automatizada de composições de serviços são descritos.

Um protótipo para composição automatizada de serviços baseado na abordagem proposta foi implementado como prova de conceito. Os resultados referentes a três cenários de uso do protótipo são descritos e comentados no Capítulo 4.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e possíveis extensões da tese.

A base de conhecimento construída e utilizada nos cenários de uso do protótipo é apresentada no Apêndice A.

## 2 COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS WEB

A SOA (ERL, 2004) é uma arquitetura de computação distribuída baseada na lógica de encapsulamento de aplicações que interagem por meio de um protocolo de comunicação comum. Estas aplicações apresentam um baixo acoplamento e implementam funcionalidades de maneira modular e independente, de tal forma que possam funcionar como componentes suportando a implementação de uma funcionalidade agregada. Em SOA, essas unidades lógicas de aplicação definem serviços que podem ser usados de maneira compartilhada para construção de diferentes funcionalidades agregadas. Essas funcionalidades agregadas são materializadas na forma de composições de serviços.

Serviços Web são serviços desenvolvidos com base em tecnologias e padrões *World Wide Web Consortium*<sup>1</sup> (W3C) visando a interoperabilidade entre as suas interações e desta forma promovendo a comunicação entre aplicações, independentemente de seu ambiente computacional e de sua localização. A especificação *Web Services Architecture* (WSA) (BOOTH et al., 2004) descreve os principais elementos da arquitetura de serviços Web. Nessa arquitetura, a troca de mensagens entre os serviços utiliza normalmente o protocolo *Simple Object Access Protocol* (SOAP). Um diretório de serviços no padrão *Universal Description Discovery and Integration* (UDDI) permite o seu registro para posterior localização por uma aplicação cliente. Uma descrição formal da interface de um serviço Web é realizada por meio de um documento na linguagem *Web Service Description Language* (WSDL) (BOOTH; LIU, 2007) o qual descreve o formato das mensagens necessárias para invocação de suas operações. Neste trabalho assume-se que os componentes de software da SOA são implementados na forma de serviços Web, os quais denominamos daqui em diante como serviços.

A SOA fornece os elementos básicos sobre os quais pode ser definida uma composição de serviços apoiada em uma abordagem sintática (YUE et al., 2007). A descrição da interface do serviço em WSDL permite uma automação na construção do tratamento sintático das mensagens, tanto dos serviços quanto das aplicações clientes correspondentes, que devem interagir de acordo com a interface descrita. Porém, a interação entre os serviços Web e suas aplicações clientes será bem-sucedida somente se existir um acordo semântico, mesmo que informal, descrevendo o comportamento intencionado da execução de suas operações. Este acordo possibilita a localização

---

<sup>1</sup>The World Wide Web Consortium <http://www.w3.org/>

dos serviços mais adequados para atendimento a uma demanda funcional requisitada por uma aplicação cliente, além de permitir o envio de parâmetros de entrada e tratamento dos resultados da operação de maneira adequada.

Um projetista de serviços pode, a partir das descrições das interfaces em WSDL e das descrições semânticas das funcionalidades de um conjunto de serviços componentes, realizar a construção manual de uma composição utilizando uma linguagem de especificação de processos, como por exemplo WS-BPEL (ALVES et al., 2007; SRIVASTAVA; KOEHLER, 2003). Esta linguagem permite a especificação dos serviços a serem utilizados na composição, o controle na execução destes serviços e do fluxo de dados entre eles.

Porém, além da descrição da interação com o serviço em termos sintáticos, a automação da construção de uma composição requer a existência de um modelo formal descrevendo as funcionalidades dos serviços componentes. Através deste modelo é possível descrever a funcionalidade dos serviços, especificar as funcionalidades requisitadas dentro de uma composição e comparar a semântica de funcionalidades. Desta forma é possível a automação da busca por serviços mais adequados para formação de uma composição.

Uma grande variedade de abordagens pode ser encontrada na literatura para construção automatizada de uma composição de serviços (MILANOVIC; MALEK, 2004; PAPAOGLOU; HEUVEL, 2007; RAO; SU, 2005). Na abordagem para composição de serviços baseada em template ou workflow (AGGARWAL et al., 2004; FILETO et al., 2003; SIRIN et al., 2005) um especialista modela inicialmente uma composição em termos de serviços abstratos. Estes serviços especificam os requisitos funcionais da composição. A transformação do modelo em uma composição executável é realizada através da substituição dos serviços abstratos por serviços concretos capazes de satisfazer aqueles requisitos. Nesta abordagem, a modelagem inicial exige um maior conhecimento prévio sobre o processo implementado pela composição, porém possibilita resultados mais especializados e otimizados.

A estrutura dos relacionamentos entre serviços de uma composição pode ser modelada em termos de redes de Petri elementares (HAMADI; BENATALLAH, 2003; ZHOVTOBRYUKH, 2007). Manipulações algébricas destas estruturas permitem a transformação de uma rede de Petri inicial em uma rede equivalente correspondente a composição de serviços. A base formal das redes de Petri permite que sejam rea-

lizadas validações, simulações e análises de desempenho das composições obtidas. Apesar disto, esta abordagem não fornece suporte direto ao uso de propriedades não-funcionais para construção de uma composição.

Algumas soluções propostas na literatura modelam o problema de composição de serviços como um problema de planejamento em IA. Pesquisas nesta área fornecem uma base sólida e sedimentada para obtenção de soluções em diferentes tipos de aplicações (POOLE; MACKWORTH, 2010; GHALLAB et al., 2004; RUSSELL; NORVIG, 2003) e será o foco deste trabalho. Nesta abordagem, a descrição de aspectos funcionais e não-funcionais dos serviços podem ser representados de forma simbólica, utilizando termos próximos ao vocabulário do especialista, o que facilita a construção e edição de uma base de conhecimento. Nas soluções baseadas em planejamento, um procedimento orientado por meta produz um plano de execução de serviços a partir dos requisitos de uma composição. A capacidade funcional de cada serviço define se ele participará do plano de execução e, em caso positivo, como ele será utilizado (BENER et al., 2009; CONSTANTINESCU et al., 2005; DONG et al., 2007; SIRIN et al., 2004; SYCARA et al., 2003; YE; CHEN, 2006).

## 2.1 Composição de Serviços como Problema de Planejamento

Uma solução para um problema de planejamento em IA corresponde à elaboração de uma sequência de ações que possibilitam a mudança de um modelo de ambiente de um estado inicial para um estado final ou meta (RUSSELL; NORVIG, 2003). Diferentes métodos para construção desta sequência são utilizados para tratar com variações nas características das ações, do modelo e propriedades dos estados. Uma ação pode ser representada, segundo a notação *STRIPS* (RUSSELL; NORVIG, 2003; POOLE; MACKWORTH, 2010), na forma de um esquema  $\langle id, p, e \rangle$  onde *id* identifica a ação e os seus parâmetros, *p* é uma proposição descrevendo a pré-condição da ação e *e* é uma proposição descrevendo o efeito da ação. A proposição *p* deve ser verdadeira, para um dado estado do modelo, para que a ação seja executada e a proposição *e* se torna verdadeira no modelo após a execução da ação. Na modelagem do problema de composição de serviços como um problema de planejamento, esta representação da ação é mapeada em elementos que possibilitam uma descrição semântica de serviços.

### 2.1.1 Representação Semântica de Serviços

Na modelagem do problema de construção automatizada de uma composição de serviços como um problema de planejamento, cada serviço é mapeado para uma ação, considerando por simplificação que cada serviço implementa somente uma operação. Neste mapeamento a pré-condição para execução da ação pode ser dividida em dois tipos de condições necessárias para a execução de um serviço. O primeiro refere-se aos tipos de dados de entrada utilizados por um serviço, e o segundo tipo refere-se ao estado do modelo do ambiente habilitando a execução do serviço. Os efeitos de uma ação podem ser divididos em efeitos relativos à geração de um novo tipo de dado de saída a partir de um tipo de dado de entrada e na descrição da modificação de estado promovida pela execução do serviço. Desta forma um serviço pode ser representado como uma extensão da notação *STRIPS* (POOLE; MACKWORTH, 2010), pela tupla  $w = \langle id, I, O, P, E \rangle$ , onde *id* é um identificador do serviço, *I* ou *Input* corresponde aos tipos de dado dos parâmetros de entrada do serviço, *O* ou *Output* aos tipos de dado gerados pelo serviço, *P* ou *Precondition* às pré-condições para execução do serviço e *E* ou *Effect* às modificações de estado do modelo promovidas pela sua execução.

### OWL-S

A implementação de mecanismos automatizados para composição de serviços requer a existência de uma descrição semântica de serviços processável por computador. Os padrões *Web Service Modeling Ontology*<sup>2</sup> (WSMO) e *Web Ontology Language for Services*<sup>3</sup> (OWL-S) são as principais soluções adotadas para essa descrição, sendo que o OWL-S têm tido uma maior popularidade, devido à sua submissão como recomendação pelo consórcio W3C.

A OWL-S é uma ontologia construída em *Web Ontology Language*<sup>4</sup> (OWL) que define um vocabulário para caracterização de serviços, modelando-os sob três aspectos: funcional, estrutural e de comunicação (Figura 2.1). Estes aspectos de um serviço são representados por um conjunto de classes, propriedades e relações entre estes elementos.

A modelagem do aspecto funcional descreve características que permitem a avaliação

---

<sup>2</sup><http://www.wsmo.org>

<sup>3</sup><http://www.w3.org/Submission/OWL-S/>

<sup>4</sup><http://www.w3.org/TR/owl-features/>



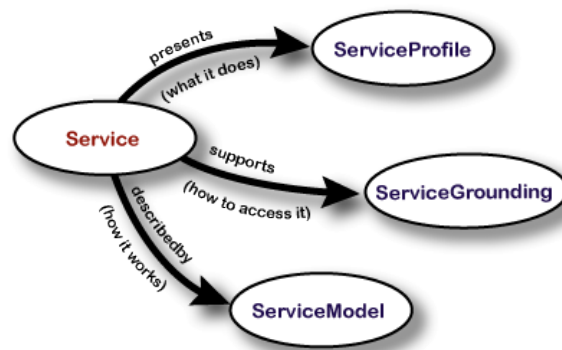


Figura 2.1 - Elementos principais da ontologia OWL-S.  
 Fonte: (BURSTEIN et al., 2004)

da utilidade do serviço por uma aplicação cliente. Além de propriedades textuais que descrevem informalmente a funcionalidade e características do serviço, existem propriedades que referenciam ontologias auxiliares para indicar a semântica dos tipos de dados dos parâmetros de entrada e saída do serviço. Esta modelagem possibilita também a descrição das condições de uso e efeitos da execução do serviço. Estas propriedades são modeladas a partir da classe *ServiceProfile* (Figura 2.2) da ontologia OWL-S.

Em OWL-S todo serviço é modelado como um processo, cujo tipo depende de sua estrutura interna. Um processo do tipo *AtomicProcess* não possui subprocessos internos e corresponde a um serviço concreto que pode ser invocado diretamente. Um processo do tipo *CompositeProcess* é formado através da composição de subprocessos. A linguagem OWL-S possui construções de controle que descrevem como esta composição é realizada. A interação de uma aplicação cliente com um *CompositeProcess* é mais complexa, uma vez que neste caso é necessária uma interação coordenada com cada um dos seus serviços componentes para realização do processo. Um processo do tipo *SimpleProcess* corresponde a uma abstração de um processo, e possibilita a criação de uma visão de um *AtomicProcess* ou de uma representação simplificada de um *CompositeProcess*. A classe *ServiceModel* é usada nessa modelagem.

No aspecto de comunicação, a OWL-S permite descrever como o serviço pode ser acessado, em termos de formatos de mensagens, protocolos de serialização, transporte e endereçamento. Este aspecto do modelo detalha o mapeamento entre elemen-



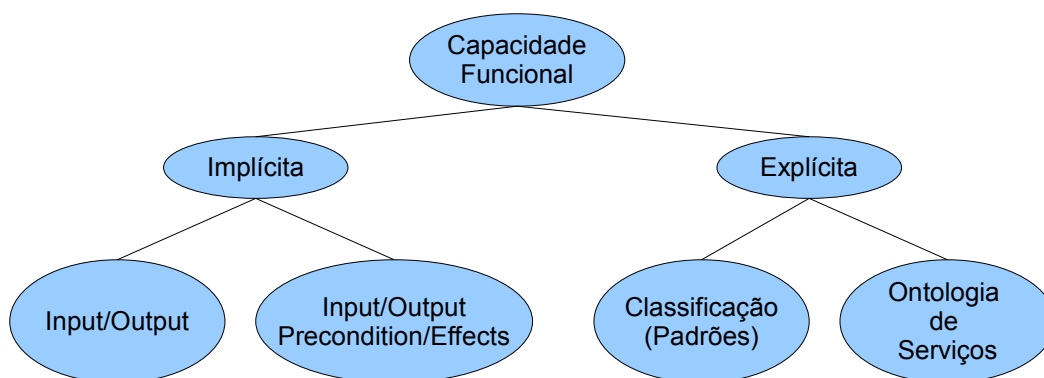


Figura 2.3 - Representação semântica de serviços.

Na representação semântica da funcionalidade de serviços com base nas propriedades *Input* e *Output* (*IO*), a identificação da aderência de um serviço aos requisitos funcionais é baseada na compatibilidade entre os tipos de entrada e saída de dados dos serviços. Para que esta identificação seja efetiva deve ser considerado o tipo conceitual dos dados, ou seja, os tipos de dados devem estar modelados em uma ontologia que torna explícita as suas relações (PAOLUCCI et al., 2002). Uma ontologia é um modelo semântico que permite a definição formal, processável por computador de termos básicos de um domínio e das relações entre eles (HEFLIN, 2004). Estes termos permitem a descrição e representação de uma área do conhecimento. Quando a semântica de um serviço pode ser caracterizada usando somente as propriedades *IO*, dizemos que o serviço realiza uma transformação de informação (MARTIN et al., 2007).

A verificação da aderência da capacidade funcional de um serviço a um requisito funcional, considerando as propriedades *Input*, *Output*, *Preconditions* e *Effects* (*IOPE*), além de exigir a verificação da compatibilidade entre os tipos dos conceitos associados às entradas e saídas de um serviço, requer também a verificação da equivalência das descrições dos estados do ambiente expressos pelas pré-condições e efeitos. A verificação da equivalência entre proposições lógicas descrevendo os estados do ambiente e os requisitos funcionais exige o uso de mecanismos de inferência lógica, tais como lógica de primeira ordem (YE; CHEN, 2006), lógica descritiva (BREITMAN et al., 2007; DONG et al., 2007) e cálculo situacional (REITER, 2002; MCILRAITH; SON, 2002; MCILRAITH; FADEL, 2002). A riqueza de vocabulário utilizado na descrição dos estados do ambiente, resultado dos diferentes contextos em que os serviços são implementados e descritos, pode dificultar a verificação desta equivalência de estados.

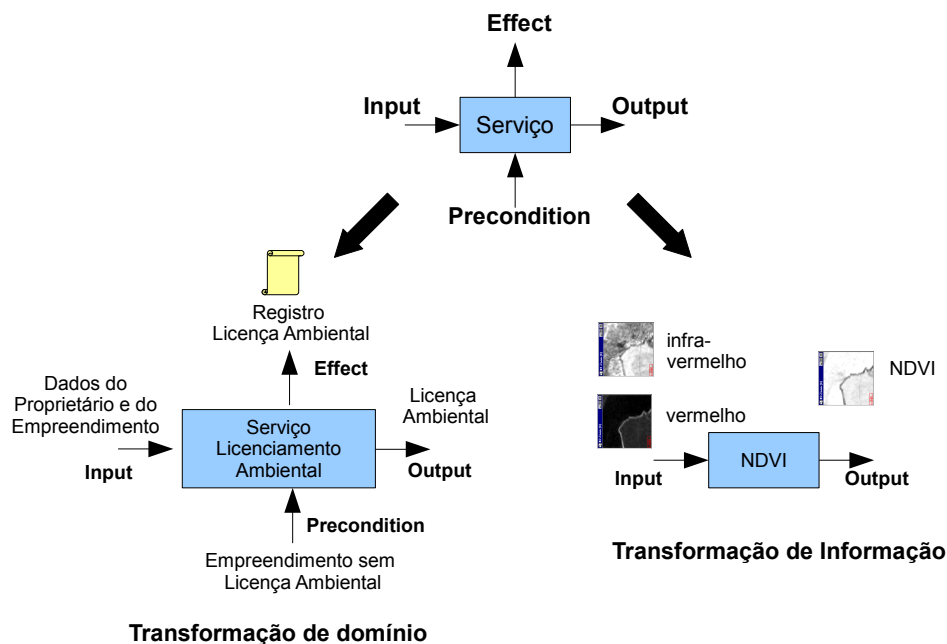


Figura 2.4 - Exemplos de representação implícita da capacidade funcional de serviços utilizando propriedades *IO* e *IOPE*.

Serviços que necessitam da descrição semântica apoiada nas propriedades *IOPE* são denominados de serviços de transformação de domínio (MARTIN et al., 2007).

Na Figura 2.4 os serviços para geração de índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, e *Serviço de Licenciamento Ambiental*, exemplificam serviços de transformação de informação e de transformação de domínio, respectivamente.

Na descrição funcional explícita de um serviço, as suas operações são associadas a conceitos de uma ontologia, os quais permitem a verificação direta da relação de equivalência e de hierarquia entre serviços. A necessidade de manutenção de uma ontologia construída desta forma é um fator que diminui a escalabilidade do uso da descrição funcional explícita. As operações realizadas por um serviço podem ser também classificadas segundo padrões de classificação de serviços. O padrão NAICS<sup>5</sup> é um exemplo de padrão internacional, que permite a incorporação de parâmetros do mundo real para classificação das operações de um serviço. CNAE<sup>6</sup> é um padrão nacional equivalente que pode ser utilizado para classificação de serviços, utilizando

<sup>5</sup><http://www.census.gov/eos/www/naics/>

<sup>6</sup><http://www.receita.fazenda.gov.br/PessoaJuridica/CNAEFiscal/cnaef.htm>

Tabela 2.1 - Comparação de abordagens para Composição de Serviços

Abordagem	Princípio	Tipo de Semântica Funcional	Equivalência Funcional	Mecanismo de Inferência
Aggarwal et al. (2004)	Dependência funcional	Implícita e Explícita	<i>IOPE</i> +QoS	Busca baseada em Restrições
Fileto et al. (2003)	Dependência funcional	Implícita e Explícita	<i>IO</i> +Escopo de Utilização	-
Sirin et al. (2005)	Dependência funcional	Implícita e Explícita	<i>IO</i>	JSHOP2 HTN planner
Hamadi e Benatalah (2003), Zhovtobryukh (2007)	Dependência funcional	-	Rede de Petri	Algebra baseada em Rede de Petri
Sirin et al. (2004)	Orientada a dados	Implícita e Explícita	<i>IO</i>	Relação de hierarquia entre conceitos
Sycara et al. (2003)	Orientada a dados	Implícita e Explícita	<i>IOPE</i>	Relação de hierarquia entre conceitos
Ye e Chen (2006)	Orientada a dados/Dependencia Funcional	Implícita e Explícita	<i>IORPE</i> ( <i>IO-Relation</i> )	Descrição Lógica
Martínez e Lespérance (2004)	Dependencia Funcional	Explícita	<i>IOPE</i>	PKS (Planning with Knowledge and Sensing) + Linguagem de programação Lógica
Orriëns et al. (2003)	Dependencia Funcional	Explícita	-	Regras de Negócio
McIlraith e Son (2002)	Dependencia Funcional	Implícita e Explícita	<i>IOPE</i>	Linguagem de Programação Lógica (Golog)
Bener et al. (2009) <sup>a</sup>	-	-	<i>IOPE</i>	Relação de hierarquia entre conceitos / SWRL
Dong et al. (2007) <sup>a</sup>	-	-	<i>IOPE</i>	Descrição Lógica
Constantinescu et al. (2005) <sup>a</sup>	-	-	<i>IOPE</i>	DirQL - Linguagem de Consulta em Diretórios

<sup>a</sup> Abordagens para seleção de serviços

critérios mais adequados a nossa realidade.

A Tabela 2.1 apresenta um resumo sobre algumas abordagens para composição de serviços disponíveis na literatura.

Nestas abordagens as representações dos elementos necessários para realização da composição podem ser baseadas no relacionamento funcional ou na modelagem de tipos de dados. Abordagens baseadas em Rede de Petri e *Hierarchical Task Network* (HTN) (GHALLAB et al., 2004; RUSSELL; NORVIG, 2003) modelam o relacionamento entre as funcionalidades implementadas pelos serviços, e utilizam pro-

cedimentos de decomposição para determinar quais são os serviços componentes necessários para composição. Esta modelagem representa de forma explícita a semântica funcional dos serviços. Procedimentos orientados a dados usam um modelo semântico dos tipos de dados como base para representação da semântica funcional dos serviços.

A avaliação da equivalência funcional entre serviços e requisitos de uma composição é dependente da representação da semântica funcional dos serviços. Abordagens baseadas somente na representação implícita da semântica dos serviços (parâmetros *IO*) utilizam mecanismos de inferência mais simples baseados na avaliação do relacionamento hierárquico de conceitos (tipos de dados). Este mecanismo de inferência também suporta a avaliação da equivalência funcional na representação explícita da semântica de serviços. A representação da semântica de serviços pode ser detalhada utilizando adicionalmente parâmetros *PE* (*Precondition* e *Effect*), parâmetros de *Quality of Service* (*QoS*), contextos de utilização, descrição de relação entrada/saída, os quais exigem a utilização de mecanismos de inferência mais complexos para avaliação de equivalência.

Neste trabalho consideramos que os serviços geográficos são caracterizados pela sua capacidade de transformação de informação, e desta forma os estados, dentro do problema de planejamento, são representados pelos tipos de dados consumidos e gerados pelos serviços. Os tipos de parâmetros de entrada e saída definem implicitamente a funcionalidade do serviço geográfico.

Dada estas considerações, a construção automatizada de uma composição de serviços pode ser descrita em termos de um problema de planejamento como segue:

- $D$  é um conjunto de tipos de dados possíveis, os quais correspondem aos estados.
- $D_{init}$  é um conjunto de tipos de dados disponíveis inicialmente, os quais descrevem o estado inicial.
- $D_{req} \subseteq D$  é o conjunto de tipos de dados desejados, correspondendo ao estado meta.
- $W$  é o conjunto de serviços, correspondendo às ações.

- $\delta : D \times W \rightarrow D$  é uma função de transição. Cada tupla descreve implicitamente a semântica de um serviço.

A função  $GEN$ , definida por conveniência, retorna todos os serviços que produzem uma instância do tipo de dados  $d_{out}$ .

$$GEN(d_{out}) = \{w \in W, d_{in} \in D \mid \exists \delta(d_{in}, w) = d_{out}\}$$

$GEN : D \rightarrow P(W)$  onde  $P(W)$  é o conjunto potência de  $W$ .

O mecanismo de composição constrói um plano de execução de serviços que, quando executado, produz uma instância de tipo de dado  $D_{req}$ . A Figura 2.5 apresenta um procedimento orientado por meta executado por este mecanismo.

Este procedimento realiza uma busca em largura na direção reversa (a partir do

```

function COMPOR(  $D_{init}, D_{req}$  ) returns uma composição
{
   $servi\c{c}os\_marginais \leftarrow$  PREDECESSORES(  $D_{req} - D_{init}$  )
  if (  $servi\c{c}os\_marginais$  vazio )
  then return composição vazia
   $input\_set \leftarrow$   $\cup$  entradas dos  $servi\c{c}os\_marginais$ 
   $output\_set \leftarrow$   $\cup$  saídas dos  $servi\c{c}os\_marginais$ 
   $NovoD_{req} \leftarrow$   $D_{req}$  - tipos de dados em  $output\_set \cup$  tipos de dados em  $input\_set$ 
   $NovoD_{init} \leftarrow$   $D_{init} \cup$  tipos de dados em  $output\_set$ 
   $plano \leftarrow$  MERGE(  $servi\c{c}os\_marginais$ , COMPOR( $NovoD_{init}$ ,  $NovoD_{req}$ ) )
  return  $plano$ 
}

function PREDECESSORES(  $tipos\_de\_dados\_requisitados$  ) returns serviços
{
   $servi\c{c}os \leftarrow$  []
  for each  $tipo\_de\_dado$  in  $tipos\_de\_dados\_requisitados$ 
  {
     $servi\c{c}os\_candidatos \leftarrow$  GEN( $tipo\_de\_dado$ )
     $servi\c{c}os\_selecionados \leftarrow$  SELECIONA( $servi\c{c}os\_candidatos$ )
     $servi\c{c}os \leftarrow$   $servi\c{c}os$  +  $servi\c{c}os\_selecionados$ 
  }
}

function MERGE(  $servi\c{c}os\_marginais$ ,  $novos\_servi\c{c}os\_marginais$  )
{
  Conecta as saídas dos  $novos\_servi\c{c}os\_marginais$  com as entradas
  correspondentes dos  $servi\c{c}os\_marginais$ 
}

function GEN(  $tipo\_de\_dado$  ) returns serviços
{
  Procura por serviços que forneçam  $tipo\_de\_dado$  baseado no
  relacionamento semântico de tipos de dados
}

function SELECIONA(  $servi\c{c}os\_candidatos$  ) returns serviços
{
  Seleciona serviços de  $servi\c{c}os\_candidatos$  baseado em heurística
}

```

Figura 2.5 - Procedimento para composição de serviços baseado na equivalência entre tipos de dados.

estado final) para encontrar, com um baixo fator de ramificação, os serviços necessários para produção do tipo de dado desejado. No primeiro passo deste procedimento, um serviço que fornece como saída um tipo de dado compatível com o requisitado é selecionado de um repositório de descrições de serviços componentes. As entradas do serviço selecionado definem requisitos para seleção de novos serviços candidatos ao encadeamento. Quando não existirem mais dependências de dados dentro da composição, o procedimento termina. O resultado do procedimento é um plano de execução de serviços que gera o tipo de dado requisitado, quando executado. Neste procedimento, a equivalência entre tipos de dados é avaliada em nível semântico.

## 2.2 Encadeamento de Serviços Web

Cada passo do procedimento de composição de serviço gera a interligação entre serviços consumidores e produtores de dados. A necessidade de dados do serviço consumidor determina as funcionalidades que deverão ser executadas para atendê-la, conforme ilustra a Figura 2.6. A descrição semântica da funcionalidade de um serviço se dá através da descrição semântica de seus parâmetros de entrada e saída. Esta descrição dos parâmetros é realizada associando os tipos de dados de entrada e saída do serviço a conceitos de uma ontologia, viabilizando desta forma a avaliação do relacionamento entre os tipos de dados gerados e requisitados dentro de uma composição.

Na interação entre serviços produtor e consumidor, os parâmetros de entrada do serviço consumidor determinam os tipos de dados que deverão ser gerados. Desta forma a localização de um serviço que satisfaça à necessidade de dados do serviço consumidor é realizada por meio de uma busca por uma base de descrições semânticas de serviços, utilizando como restrições os tipos de dados de entrada e saída. Os

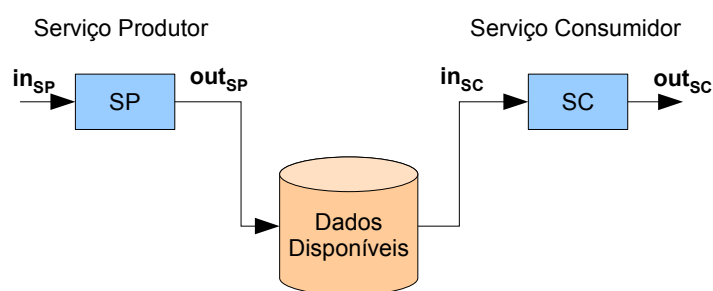


Figura 2.6 - Serviços produtor e consumidor de dados.



tipos de dados de saída selecionam os serviços que geram dados compatíveis para uso pelo serviço consumidor. Os tipos de dados de entrada selecionam os serviços que geram novos dados a partir de um tipo de dado fornecido. Normalmente as restrições relativas ao tipo de dado de entrada não são consideradas, sendo utilizados somente os tipos de dados de saída, os quais são fundamentais para atendimento das necessidades de dados do serviço consumidor (SYCARA et al., 2003; CARDOSO; SHETH, 2003).

### 2.2.1 Equivalência Funcional de Serviços baseado em propriedades IO

As relações semânticas entre os tipos de dados requisitados por um serviço consumidor e os tipos de dados gerados pelos serviços componentes podem ser classificados em diferentes níveis de compatibilidade, conforme apresentado na Figura 2.7 (PAOLUCCI et al., 2002; SYCARA et al., 2003; CARDOSO; SHETH, 2003; SRINIVASAN et al., 2005; KLUSCH et al., 2006; GUO et al., 2005). Os níveis de compatibilidade são descritos na Tabela 2.2.

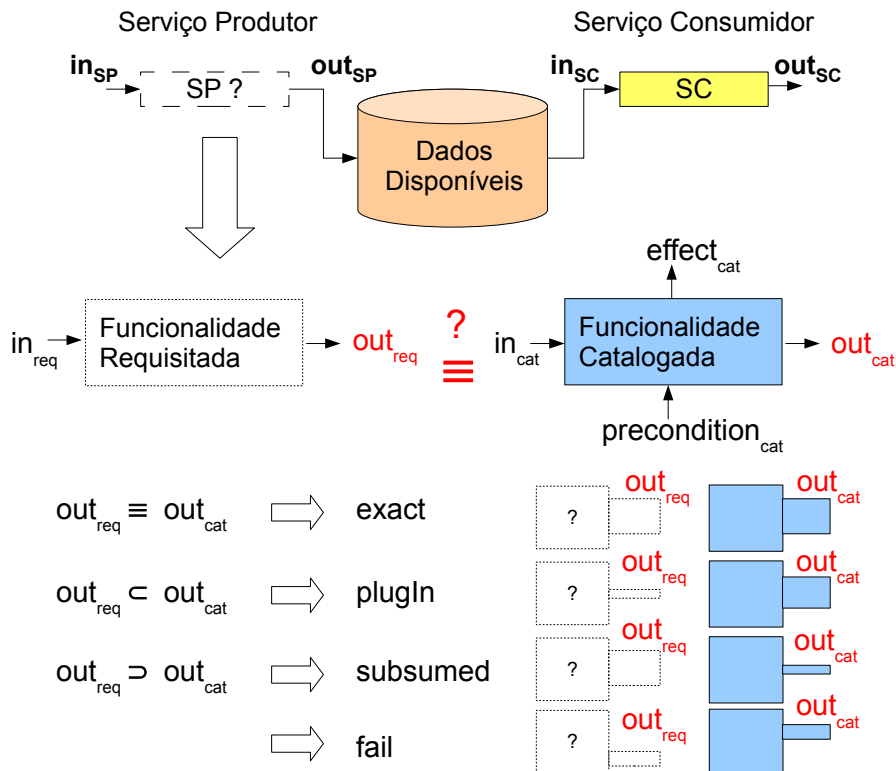


Figura 2.7 - Níveis de compatibilidade entre tipos de dados.

Tabela 2.2 - Níveis de compatibilidade entre tipos de dado.

Compatibilidade	Descrição
<i>exact</i>	Tipo de compatibilidade mais relevante, que indica que dois tipos de dados são semanticamente equivalentes.
<i>plugin</i>	Tipo de dado gerado por um serviço é semanticamente mais geral do que o requisitado.
<i>subsumed</i>	Tipo de dado gerado por um serviço é semanticamente mais específico do que o requisitado.
<i>fail</i>	Nenhum outro tipo de compatibilidade identificada.

Um serviço componente apresenta um maior grau de equivalência funcional com os requisitos funcionais quando as saídas do serviço apresentam compatibilidade do tipo *exact* com os saídas requisitadas. As compatibilidades do tipo *plugin* e *subsumed* exigem um maior esforço para integração e conversão dos dados. Compatibilidades do tipo *fail* implicam na impossibilidade de integração do serviço componente com a composição.

O grau de aderência de um serviço a um conjunto de requisitos funcionais pode ser calculado com base nestes níveis de compatibilidade (CARDOSO; SHETH, 2003; SIRIN et al., 2005; KLUSCH et al., 2006). Estes cálculos são utilizados na definição de uma ordem de preferência para seleção dos serviços utilizados na composição. O grau de equivalência entre requisitos funcionais e a funcionalidade implementada por um um serviço pode ser expresso pela função *EquivS*, adaptada de Chifu et al. (2011):

$$\begin{aligned}
 EquivS(SR, SC) &= f(EquivCs(SR_{inputs}, SC_{inputs}), EquivCs(SR_{outputs}, SC_{outputs})) \\
 EquivCs(SR_{inputs}, SC_{inputs}) &= \\
 &\{g(equivc_1, \dots, equivc_n) | equivc_i = \max(EquivC(SR_{input_i}, SC_{input_j})) \\
 &\text{para } i = 1, |SR_{inputs}| \text{ e } j = 1, |SC_{inputs}|\} \\
 EquivC &: C \times C \rightarrow \mathbb{R}
 \end{aligned}$$

Onde *SR* e *SC* são descrições semânticas da capacidade funcional requisitada e da implementada por um serviço componente, respectivamente. *f* e *g* são funções de agregação. *EquivCs* calcula um valor refletindo a compatibilidade entre dois conjuntos de conceitos. A função *EquivC* calcula a distância semântica entre dois conceitos modelados em uma ontologia. Esta distância pode ser obtida por exemplo,

calculando a distância mínima entre os dois conceitos em uma hierarquia de conceitos (PAOLUCCI et al., 2002), medindo o grau de sobreposição de sub-conceitos (SKOUTAS et al., 2008), ou pela medida da similaridade entre propriedades dos conceitos (CARDOSO, 2006).

Propriedades não funcionais podem apoiar a seleção de serviços, reduzindo o espaço de busca. Estas propriedades podem incluir qualquer conjunto de informações do serviço e de seu contexto que possibilitem a escolha do serviço mais adequado, a partir da especificação de um conjunto de requisitos. Quanto maior o número de serviços disponíveis para execução de uma determinada funcionalidade, maior é a importância das propriedades não funcionais para seleção mais precisa e adequada dos serviços (O’SULLIVAN et al., 2002).

### **2.2.1.1 Limitações da Restrição de Tipo**

O procedimento para composição de serviços baseado nas propriedades *IO* apresenta dois problemas importantes quando aplicado no contexto de serviços para tratamento de geodados. Um primeiro problema é relacionado com a qualidade dos dados gerados pela composição resultante. O encadeamento de serviços baseado na compatibilidade de tipos de dados avalia as pré-condições para execução de um serviço geográfico, porém não garante condições ótimas para sua execução, com a consequente produção de dados de boa qualidade. Um segundo problema refere-se à impossibilidade de inclusão de serviços de transformação de propriedades na composição. Esses serviços são usados, por exemplo, na realização de interpolações, processamento de imagens e filtragens, os quais geram, na saída, um mesmo tipo de dado de entrada.

A sintaxe dos dados trocados entre os serviços na forma de mensagens é descrita por documentos em WSDL. A semântica de cada tipo de dado é realizada através da associação desses tipos a conceitos de uma ontologia. Através desta associação é assumido que toda instância daquele tipo de dado é representante ideal do conceito, e desta forma apresenta características padronizadas. Brin (1999) utiliza um procedimento automatizado para construção incremental de padrões e extração de amostras de documentos, apoiadas neste princípio para busca de documentos relevantes na Web. No trabalho de Klien e Lutz (2005), a identificação do tipo de uma instância de geodado é realizada pela verificação da existência destes padrões por meio de procedimentos de análise espacial.

Porém, durante a execução de composições de serviços geográficos, não existe uma garantia de que as instâncias de geodados utilizadas atendam completamente às características necessárias para execução adequada de um serviço. Geodados com valores *outlier*, distribuições espaciais aleatórias e imagens cobertas por nuvens são exemplos de dados que apresentam características que desviam do padrão esperado. O surgimento dessa não conformidade com o padrão pode ser inerente ao processo de produção do geodado, porém, a construção de novas composições de serviços define novos contextos não previstos de uso do geodado por um serviço geográfico. Cada instância de dado trocada entre os serviços possui características particulares que habilitam-no como adequado para uso por um determinado procedimento em geoprocessamento. As características adequadas de uso podem ser descritas como requisitos de qualidade de dados de entrada de um serviço. Composições de serviços construídas sem considerar estes requisitos podem gerar dados de baixa qualidade e inadequados para o uso.

A construção de uma aplicação em geoprocessamento através da composição de serviços é justificável se existir a possibilidade de reuso desta aplicação. Durante o reuso, os serviços da composição estarão sujeitos a dados desconhecidos, onde a distância semântica entre o que um serviço espera como entrada e o que lhe é oferecido pode comprometer os resultados gerados pela aplicação.

O procedimento apresentado na Figura 2.5 utiliza uma abordagem de planejamento clássica, que considera que o serviço produtor gera de maneira determinística as condições para execução do serviço consumidor. Isto significa que os dados gerados pelo serviço produtor são diretamente utilizáveis pelo serviço consumidor, atendendo às suas pré-condições de execução, que neste caso correspondem a restrição do tipo de dado de entrada. Porém, esta restrição não é suficiente para garantir a execução bem sucedida do serviço consumidor, propiciando que ele gere resultados de boa qualidade.

O segundo problema do procedimento para composição ocorre porque a representação da capacidade funcional de um serviço baseada em seus parâmetros de entrada e saída não caracteriza adequadamente a funcionalidade de serviços que apresentem tipos de dados de entrada e saída semanticamente idênticos. Procedimentos no domínio de análise espacial, tais como interpolação, suavização de taxas e ajustes de escalas, alteram propriedades da instância de um geodado sem alterar o tipo de dado de saída. A construção automatizada de uma composição baseada na seleção

de serviços por parâmetros *IO* não é capaz de identificar onde as funcionalidades implementadas por estes serviços podem ser utilizadas.

### 2.2.2 Proposta

Podemos encontrar muitos trabalhos para construção automatizada de composições de serviços utilizando métodos de planejamento apoiados nas propriedades *IO* de um serviço. Apesar de possibilitar soluções mais simples para o problema de composição quando comparado com abordagens apoiadas nas propriedades *IOPE*, os resultados obtidos apresentam limitações apresentadas no seção 2.2.1.1. A utilização das propriedades *IOPE* proporciona um maior poder de representação da semântica funcional dos serviços, porém implicam no aumento da complexidade do procedimento de composição de serviços. Nesta tese propomos uma nova abordagem para aperfeiçoamento da composição baseada nas propriedades *IO*, que apresenta maior robustez quanto à variação da qualidade dos dados de entrada de um serviço e permite a inclusão de serviços geográficos para transformação de propriedades.

Esta proposta está baseada nos seguintes elementos:

- Ontologia para descrição de serviços geográficos
- Ontologia para descrição de tipos de dados
- Ontologia descrevendo conceitos de qualidade de geodados
- Regras de requisitos de qualidade
- Esquema para composição de serviços geográficos apoiada na técnica de planejamento condicional utilizando regras de requisitos de qualidade



### 3 COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS WEB BASEADA EM REQUISITOS DE QUALIDADE DE GEODADOS

A abordagem para composição automatizada apoiada nas propriedades *IO* utiliza uma medida da compatibilidade semântica entre tipos de dados como critério para seleção dos serviços componentes. Como visto na seção 2.2.1.1, esta restrição não é suficiente para caracterizar os geodados adequados ao uso por um serviço geográfico. Nessa abordagem, a semântica funcional dos serviços é suportada por uma ontologia de tipos de dados. Essa forma de descrição da semântica funcional caracteriza uma situação ideal da interação entre os serviços, porém não captura as necessidades qualitativas do geodado requisitadas para uma execução adequada do serviço geográfico consumidor.

Em uma composição, serviços geográficos podem assumir os papéis de produtor ou consumidor de geodados. Quando consumidor, a execução ótima desses serviços é condicionada às características adequadas das instâncias de geodados fornecidos como entrada. O grau de aderência de uma instância de geodado a essas características pode variar para diferentes composições, e devem ser avaliadas durante o tempo de execução. Assumimos que essas características definem regras de requisitos de qualidade de geodados do serviço consumidor e descrevem aspectos dinâmicos da interação deste com os serviços produtores.

Para que estas regras possam ser utilizadas no aperfeiçoamento do procedimento para composição automatizada de serviços é necessário definir como podemos expressá-las e avaliá-las, dada uma instância de geodado. A descrição semântica dos serviços geográficos deve ser incrementada com essas regras para que possam especificar os seus requisitos de qualidade. As regras constituem um refinamento da descrição semântica funcional apoiada na semântica dos tipos de dados de entrada e saída dos serviços. Estes elementos devem ser incorporados na composição de serviços para possibilitar a avaliação de conformidade (CRUZ et al., 2009). Nas seções que seguem, baseadas no artigo em segunda revisão (CRUZ et al., 2011a), descrevemos os fundamentos que permitem a realização destas tarefas.

#### 3.1 Qualidade de Geodados

De acordo com Cockcroft (1997), a qualidade dos dados geoespaciais reflete a fidelidade com que eles retratam a realidade. As discrepâncias existentes entre o que

é observado na realidade e o que é retratado pelos dados podem ser indicadas por meio de várias formas de erro. Erros posicionais e de atributo indicam as diferenças no posicionamento e/ou nos valores de propriedades que descrevem ocorrências de fenômenos georreferenciados. As diferenças nos relacionamentos entre entidades representadas e relacionamentos das entidades reais indicam inconsistências lógicas. Uma falta de completude corresponde à falta de representações para elementos geoespaciais reais (HUNTER, 1996; HUNTER et al., 2009; DEVILLERS et al., 2007).

Os erros podem ser gerados em vários momentos no processo de obtenção e tratamento de dados espaciais. Segundo Hunter (1996) e Hunter et al. (2009) os erros apresentados em um produto de geoprocessamento podem ser gerados, em um primeiro momento, durante a observação, coleta e inserção dos dados no computador. Em seguida o processamento desses dados pode ser responsável pela inserção de novos erros e, finalmente, o uso inadequado dos dados pode também ser fonte de erros. Esse uso inadequado se refere à utilização de produtos de geoprocessamento com baixa qualidade para produção de novos dados, sem considerar os impactos dos erros existentes e sem compatibilizá-los adequadamente com outros dados geoespaciais.

No contexto da execução de uma composição de serviços geográficos, o processamento realizado pelos serviços componentes representa uma fonte de erros, contribuindo para a redução da qualidade dos geodados. A qualidade dos geodados produzidos por um serviço pode ser afetada pela falta de conformidade entre os dados fornecidos em sua entrada com as restrições de qualidade de dados associadas a essas entradas.

O procedimento de análise de dados espaciais para verificação da correlação espacial de eventos ilustra essa situação. Eventos podem ser agregados por áreas correspondentes a bairros, municípios, estados, etc. O cálculo de taxas de ocorrência de eventos agregados por área não deve ser diretamente utilizado para análises de correlação espacial, pois pode apresentar uma distorção conhecida como instabilidade de taxas para pequenas áreas (BAILEY; GATRELL, 1995; DRUCK et al., 2004). Este dado poderá ser utilizado como entrada para um serviço de análise em geoprocessamento desde que se verifique que não existam evidências da ocorrência destas distorções ou, se ocorrerem, que elas estejam sendo devidamente corrigidas. Neste contexto, o serviço consumidor do dado define restrições de qualidade dos dados de entrada que também devem ser respeitadas, além daquelas relativas aos tipos de dados de suas entradas. Estas restrições devem ser respeitadas entre o serviço produtor e consu-



midor dos dados, e devido ao caráter dinâmico em que são estabelecidos dentro de uma composição de serviço, não podem ser previstas pelo serviço produtor.

O trabalho de Wang et al. (1993) sugere uma abordagem para modelagem e análise de requisitos de qualidade de dados no contexto de banco de dados, onde estes requisitos podem ser estabelecidos de maneira estática. Neste contexto, informações sobre qualidade de dados são modeladas como um conjunto de atributos de qualidade. Parâmetros de qualidade dos dados representam a dimensão subjetiva destes atributos, e indicadores de qualidade, a dimensão objetiva. Os valores dos parâmetros de qualidade dos dados são inferidos com base em informações objetivas provenientes de valores dos indicadores de qualidade. A definição destes parâmetros e indicadores é baseada nas diferentes necessidades de avaliação da qualidade por aplicações e usuários consumidores do dado. Cockcroft (1997) sugere uma taxonomia para classificação de restrições de integridade de dados espaciais no contexto de banco de dados. Neste caso, o gerenciamento de qualidade dos dados é realizado com base em regras de restrição que devem ser avaliadas na inserção ou atualização dos dados do banco. As regras determinam condições espaciais (topológicas, semânticas e/ou específicas da aplicação) em instâncias de dados que devem ser tratadas adequadamente para evitar a perda de qualidade dos dados do banco.

As especificações ISO 19113 e 19114 (ISO/TC 211, 2003), estabelecem princípios para identificação, avaliação e registro de informações sobre qualidade de geodados. Estes princípios têm o objetivo de facilitar o intercâmbio entre fornecedores e usuários de geodados, estabelecendo uma base conceitual comum para descrição de qualidade (fornecedores) e descrição de requisitos (usuários) dos geodados. A ISO 19113 estabelece um conjunto padrão de atributos de qualidade, denominados elementos de qualidade, usados para descrição de qualidade do geodado. Os elementos complete, consistência lógica, acurácia posicional, acurácia temporal e acurácia temática estão associados a sub-elementos descrevendo suas diferentes perspectivas de avaliação. Um conjunto de descritores é utilizado na descrição das características padrão de cada um dos sub-elementos. A ISO 19114 orienta a organização de procedimentos para avaliação de métricas de qualidade dos geodados, para cada um dos elementos estabelecidos pela ISO 19113. Uma fórmula para agregação de valores de qualidade de dados pode ser utilizada para determinação de um valor da qualidade global, a partir do qual pode ser definida a conformidade ou não-conformidade de um geodado. Essas fórmulas têm função semelhante às regras definidas por Cockcroft

(1997) e Wang et al. (1993), porém com uma semântica menos explícita.

A área de composição de serviços geográficos fornece um novo contexto no qual as idéias apresentadas por estes artigos e especificações podem ser utilizadas. Os atributos de qualidade podem fornecer ao serviço consumidor do dado uma maneira de verificação de conformidade com requisitos, porém os valores destes atributos devem ser extraídos dinamicamente dos dados, uma vez que não podem ser completamente previstos pelo serviço produtor. Os elementos definidos pelas ISO 19113 e 19114 podem ser utilizados na descrição e organização dessas informações sobre atributos de qualidade. A identificação de falhas de conformidade com requisitos de qualidade de dados na entrada de um serviço pode evidenciar situações de uso inadequado do serviço e, desta forma, deve promover a execução de alguma ação para tratamento da situação encontrada.

### **3.1.1 Qualidade de Geodados aplicada na Descrição Semântica de Serviços**

O casamento de tipos de parâmetros de entrada e saída dos serviços não permite o encadeamento adequado de serviços que não promovem uma modificação de tipo dos dados. Para contornar esta restrição é necessário distinguir dois tipos de transformação de informação realizadas pelos serviços. A primeira transformação, tratada adequadamente com o uso de descrições semânticas estáticas dos serviços, corresponde à geração de um novo tipo de dado de saída a partir de um tipo de dado de entrada. O segundo tipo de transformação é realizada quando um serviço altera propriedades de um dado mantendo o seu tipo. Denominamos serviços que realizam esse tipo de transformação como serviços de transformação de propriedades. Para permitir a inclusão de serviços que executam este segundo tipo de transformação é necessário descrever quando elas são necessárias e como o procedimento da Figura 2.5 pode ser modificado para acomodar essa nova necessidade. Para isto, foram considerados os pré-requisitos para execução confiável de um serviço consumidor de geodados.

A realização confiável de alguns procedimentos em geoprocessamento e análise espacial é dependente de condições de uso do dado. Caso as condições de uso não sejam adequadas, em algumas situações é possível realizar procedimentos para sua adequação. Assumimos que essas condições definem requisitos de qualidade de dados, que podem indicar a necessidade ou não da execução de procedimentos de transfor-

mação de propriedades de um geodado. Uma vez que essas necessidades dependem de características individuais de cada instância de geodado, a decisão de execução ou não do serviço de transformação de propriedades somente poderá ser tomada durante a execução do serviço. Na composição, estes serviços são precedidos de testes de conformidade, necessários para avaliar as condições de uso dos dados. Estas condições são expressas em termos de atributos de qualidade de dados. Valores para estes atributos são calculados durante a execução da composição a partir de serviços que implementam procedimentos de análise espacial. Requisitos de qualidade dos geodados são descritos por regras semânticas expressas utilizando estes atributos, as quais determinam quais são os valores aceitáveis destes atributos que permitem o uso do geodado por um serviço. Nestas regras, atributos de qualidade cujo valor deriva diretamente da execução de um serviço são denominados indicadores de qualidade, e atributos cujo valor é obtido indiretamente, a partir de valores de outros atributos, são denominados parâmetros de qualidade.

### **3.1.2 Requisitos de Qualidade de Geodados**

Nesta tese, requisitos de qualidade de geodados são definidos como condições que expressam a usabilidade de um geodado utilizado como entrada de um serviço. Esses requisitos também são respeitados na abordagem tradicional de análise espacial, realizada interativamente por meio de ferramentas SIG. Nesse caso os especialistas em análise possuem conhecimento sobre as características de um geodado que possibilitam a execução confiável de um determinado procedimento de análise.

No contexto de uma composição automatizada de serviços é necessário expressar esses requisitos em uma forma processável por computador. Para isto tomamos como base uma combinação das abordagens de Wang et al. (1993) e de Cockcroft (1997). Na abordagem proposta, indicadores de qualidade de geodados são atributos objetivos de qualidade medidos sobre uma instância de geodado. Os valores dessas medidas podem ser previamente calculados e colocados disponíveis na forma de metadados ou podem ser calculados por meio de análise espacial durante a execução da composição. Parâmetros de qualidade de geodados são atributos subjetivos de qualidade, cujos valores são inferidos utilizando-se regras baseadas nos valores dos indicadores de qualidade ou em valores de outros parâmetros. Requisitos de qualidade de geodados são valores dos atributos de qualidade que determinam as condições favoráveis de uso da instância de geodado por um serviço.

Os atributos e requisitos de qualidade são expressos com base em conceitos de qualidade associados aos geodados. Identificamos alguns destes conceitos e indicadores associados em trabalhos da literatura de geoprocessamento e análise espacial. Foram identificados também alguns procedimentos realizados para medição dos valores destes indicadores a partir de um determinado tipo de dado. As especificações ISO 19113 e 19114 descrevem esquemas gerais para estabelecimento, descrição e avaliação destes atributos de qualidade.

Uma análise espacial pode ser vista como a realização de um conjunto de atividades visando a identificação e explicação de um determinado processo espacial. Segundo [Smith et al. \(2007\)](#) a realização destas atividades segue um conjunto de etapas bem definidas correspondendo à formulação do problema, planejamento, coleta de dados, análise exploratória dos dados, formulação de hipóteses, modelagem e testes, revisão e por último a elaboração de relatórios com conclusões. Vários aspectos da qualidade dos geodados devem ser observados em cada uma destas etapas. Na etapa de coleta de dados, a qualidade de cada fonte de dado deve ser avaliada individualmente e também em combinação. A compatibilidade de características dos dados, tais como escala, projeção, resoluções temporal e espacial, contemporaneidade devem ser avaliadas para determinar a possibilidade do uso em conjunto.

A determinação de um modelo explicativo pode ser realizada para um processo espacial descrito por um conjunto de pontos em uma área representando eventos individuais quando estes pontos apresentam uma distribuição espacial não aleatória. Esta não aleatoriedade pode ser avaliada pela identificação de agrupamentos de eventos apresentando uma distribuição não consistente com a distribuição de *Poisson*, que é característica de dados aleatórios. Os métodos *função K*, estimador de intensidade (*kernel estimation*), distância do vizinho mais próximo e modelo de aleatoriedade espacial completa ou *Complete Spatial Randomness* (CSR) podem ser utilizados nessa identificação ([BAILEY; GATRELL, 1995](#); [DRUCK et al., 2004](#); [SMITH et al., 2007](#)).

Valores de atributos agregados por áreas individuais podem estar espacialmente correlacionados como efeito de uma justificativa comum. Este correlacionamento pode ser avaliado por meio de cálculo de índices de correlação, tais como o Índice de Moran e Índice de Geary ([BAILEY; GATRELL, 1995](#); [DRUCK et al., 2004](#)).

A presença de valores extremos ou *outliers* pode distorcer os resultados de uma aná-

lise, mas podem ser identificados por meio de ferramentas estatísticas tais como *Box Map* e *Percentis* (NIST, 2010; ANSELIN, 2005). Procedimentos que consideram variações temporais ou espaciais podem ser aplicados na identificação de valores *outliers* para domínios específicos, tais como dados pluviométricos e de temperatura (Hydrology Committee, 1981). Procedimentos de filtragem podem ser utilizados para eliminar ou substituir estes valores (NIST, 2010; KLEIN; LEHNER, 2009). A identificação de *outliers* para valores representando taxas pode ser realizada pelo procedimento de *Excess Rate Maps*. A remoção destes valores pode ser realizada utilizando métodos de suavização de taxas (BAILEY; GATRELL, 1995; DRUCK et al., 2004).

A cobertura espacial ou temporal dos geodados pode ser insuficiente para realização adequada dos procedimentos de análise. Uma medida desta completude pode ser obtida na forma de uma razão entre dados disponíveis e dados requisitados pelo procedimento (PIPINO et al., 2002). O problema de cobertura pode ser contornado utilizando conjunto de dados complementares ou utilizando interpolações.

A fragmentação dos geodados que ocorre a partir do cruzamento de informações pode gerar um aumento da granularidade temática ou espacial nos resultados, dificultando a utilização prática destes. Indicadores para a granularidade temática e espacial podem ser o número de classes temáticas e o número de áreas de pequena dimensão em um geodado. O procedimento de reclassificação pode ser utilizado para diminuição desses tipos de granularidade (ASSAD; SANO, 1993).

A qualidade dos dados obtidos por meio de sensoriamento remoto é influenciada por fatores internos referentes a características operacionais do sensor e dos objetos avaliados. A presença de nuvens, nível de iluminação inadequada e aerossol representam fatores externos que interferem na fidelidade da medição realizada pelo sensor (JACKSON; HUETE, 1991; BARET; GUYOT, 1991; BROGE; LEBLANC, 2001). Procedimentos são utilizados para avaliar o nível de interferência destes fatores externos fornecendo parâmetros para definir a confiabilidade do sensoriamento em nível de pixel. Dependendo da aplicação, os *pixels* que apresentam baixa confiabilidade são removidos da imagem (SOLANO et al., 2010; GU et al., 2009).

A Tabela 3.1 sintetiza este levantamento por indicadores e seus procedimentos de avaliação.

Tabela 3.1 - Conceitos e Indicadores de Qualidade de Geodados

Conceito de Qualidade de Geodado	Tipo de dado	Indicador de Qualidade	Procedimento de medição
Distribuição espacial aleatória	Distribuição espacial de pontos	Índice de aleatoriedade da distribuição espacial	<i>função K</i> , Estimador de intensidade ( <i>Kernel estimation</i> ), CSR
	Distribuição espacial de áreas	índice de correlação espacial	Índice de Moran, Índice de Geary
<i>Outliers</i>	Conjunto de dados genéricos	Número de <i>outliers</i>	<i>Box Map</i> , Percentis
	Conjunto de dados de domínio específico (Ex: Pluviometria, Temperatura)	Número de <i>outliers</i>	Procedimentos estatísticos dependentes do domínio
	Conjunto de dados de taxa	Número de <i>outliers</i>	Taxa excedente
Compleitude de Cobertura	Pontos	Razão	Razão entre dados disponíveis e requeridos
	Áreas		
	Imagens		
Confiabilidade de Pixels	Pixel	Índice de confiabilidade de pixels	Função da nebulosidade, aerosol, sombras, ângulo de visão, etc...
Granularidade temática	Distribuição espacial	Numero de classes	Reclassificação de temas
Granularidade espacial	Area	Numero de áreas reduzidas	Reclassificação de temas

### 3.1.3 Descrição Semântica de Requisitos de Qualidade de Geodados

Parâmetros de qualidade possibilitam avaliar a conformidade de uma instância de geodado com os requisitos de qualidade de um serviço consumidor. Neste trabalho os parâmetros de qualidade são expressos na forma de regras semânticas baseadas em conceitos de qualidade de dados. Os valores desses parâmetros podem ser calculados a partir dos valores dos indicadores de qualidade que estão associados a esses conceitos. Os requisitos de qualidade definem condições descritas com base em valores de parâmetros e de indicadores de qualidade que caracterizam uma instância de geodado adequada para uso. Um teste de conformidade de uma instância do geodado corresponde à avaliação dessas condições durante o tempo de execução. Essas regras incrementam a base de conhecimento utilizada na composição automatizada de serviços e permitem uma descrição mais detalhada da interação entre serviços.

As linguagens OWL e *Semantic Web Rule Language* (SWRL) foram utilizadas respectivamente na construção de uma ontologia de conceitos de qualidade e na descrição das regras de requisitos e de parâmetros de qualidade. Essas linguagens fornecem

um base integrada para representação formal de conceitos para construção de aplicações na Web Semântica<sup>1</sup>.

### 3.1.3.1 Linguagem OWL

A linguagem OWL (MCGUINNESS; HARMELEN, 2004) é uma recomendação do consórcio W3C indicada para representação de conhecimento. Por meio dessa linguagem é possível a construção de um modelo semântico formal de um domínio descrevendo os seus conceitos e os inter-relacionamentos entre eles. Conceitos são representados por um conjunto de entidades identificados coletivamente como uma classe. As classes podem ser declaradas explicitamente ou podem ser definidas a partir de outras classes por meio de restrições e operações entre classes. As restrições determinam condições sobre propriedades de uma classe, definindo uma nova classe como um subconjunto de entidades que atendem àquelas condições. Em OWL, as classes também podem ser especificadas como resultado da realização de operações de interseção, união e complemento entre classes. A linguagem possui construções para expressar o relacionamento hierárquico entre classes, capturando dessa forma o relacionamento de hierarquia de conceitos.

Propriedades em OWL são elementos de primeiro nível, declarados de maneira independente das classes e que descrevem relacionamentos binários entre entidades de duas classes (*ObjectProperty*) e entre a entidades de uma classe e valores literais (*DatatypeProperty*). Da mesma forma que as classes, as propriedades podem ser organizadas de forma hierárquica.

O uso controlado do vocabulário da linguagem OWL na representação de conhecimento permite a definição de três tipos de sub-linguagens de OWL, classificadas de acordo com a sua expressividade. Em sua versão menos expressiva, denominada *OWL Lite*, é possível declarar classes, propriedades, relações de hierarquia e restrições básicas capazes de modelar ontologias simples tais como taxonomias e tesouros. *OWL DL* apresenta maior poder expressivo, possibilitando a modelagem de ontologias mais complexas, porém mantendo a decidibilidade, ou seja, é possível a construção de procedimentos de inferência cujas execuções terminam com uma resposta. Em sua versão mais expressiva, denominada *OWL Full*, não existe restrição no uso do vocabulário de OWL, que dessa forma permite a modelagem de conhecimento com maior nível de detalhamento, porém sem garantia de decidibilidade para os

---

<sup>1</sup><http://www.w3.org/standards/semanticweb/>

procedimentos de inferência.

### 3.1.3.2 SWRL

A linguagem SWRL (HORROCKS et al., 2004) estende a capacidade de representação da OWL, possibilitando a descrição de conhecimento na forma de regras. Uma regra em SWRL é formada por conjunções de condições organizadas nas partes antecedente e consequente de uma implicação. Nesta implicação, se as condições da parte antecedente da regra são verdadeiras então a parte consequente será assumida como verdadeira. As conjunções são formadas por 0 ou mais átomos, sendo que cada átomo pode assumir uma das seguintes formas, onde  $x$  e  $y$  são ou variáveis, entidades OWL ou valores literais:

- $C(x)$ , onde  $C$  representa a descrição de uma classe OWL;
- $P(x, y)$ , onde  $P$  representa uma propriedade OWL;
- $sameAs(x, y)$ , expressão verdadeira caso  $x$  e  $y$  representem um mesmo objeto;
- $differentFrom(x, y)$ , expressão verdadeira caso  $x$  e  $y$  representem objetos distintos;
- $builtIn(r, x, \dots)$ , onde  $r$  representa uma relação pré-definida em SWRL.

Os átomos nas regras SWRL devem respeitar as construções *OWL DL* e *OWL Lite*.

## Ontologia de Requisitos de Qualidade de Geodados

A construção de um protótipo da Ontologia de Requisitos de Qualidade de Geodados realizada nesta tese adotou os seguintes critérios de modelagem:

- Os atributos de qualidade de geodados foram organizados sob a propriedade OWL *DataQualityAttribute* de tipo *ObjectProperty*. Indicadores e parâmetros de qualidade estão organizados respectivamente sob as hierarquias de propriedades OWL *DataQualityIndicator* e *DataQualityParameter*, subpropriedades de *DataQualityAttribute*;
- As propriedades do tipo *DataQualityIndicator* mapeiam relacionamentos entre instâncias de geodados e instâncias de valores de indicadores, os quais



também são entidades organizadas sob a classe *IndicatorValueType*. Assumimos que os indicadores de qualidade fornecem medidas globais sobre uma instância de geodado por meio de procedimentos em análise espacial e geoprocessamento. Alguns destes procedimentos são apresentados na coluna *Procedimento de medição* da Tabela 3.1;

- Propriedades *DataQualityParameter* mapeiam relações entre instâncias de geodados e valores booleanos;
- Regras de parâmetros de qualidade primárias são regras em SWRL que descrevem os valores desses parâmetros como função direta de valores de indicadores de qualidade e de valores de parâmetros de configuração da composição, os quais definem limiares de avaliação da regra. Estes parâmetros de configuração permitem ajustar o rigor com que essas regras definem um determinado conceito;
- Regras de parâmetros de qualidade derivadas são regras em SWRL que descrevem valores desses parâmetros como função de valores de parâmetros descritos por regras primárias ou valores de outros parâmetros derivados. Desta forma os parâmetros primários formam o componente básico para construção de regras complexas que podem ser reutilizadas e configuradas para diferentes contextos e regras;
- Regras de requisitos de qualidade são regras de parâmetros de qualidade utilizadas na descrição da usabilidade de uma instância de geodado por um serviço.

Uma ontologia de requisitos foi construída utilizando essas convenções sobre os conceitos descritos sucintamente na Tabela 3.1 para dar suporte ao protótipo desenvolvido como prova de conceito. Os atributos de qualidade foram organizados como propriedades OWL (Figura 3.1(b)) e as regras de requisitos de qualidade foram modeladas como regras SWRL baseadas nessas propriedades. A Figura 3.1(a) exemplifica regras primárias indicando a ausência de nebulosidade e o grau aceitável da configuração geométrica de um sensor. Estas duas regras são utilizadas na regra derivada apresentada na Figura 3.1(c) que descreve quando um dado de sensoriamento remoto é confiável.

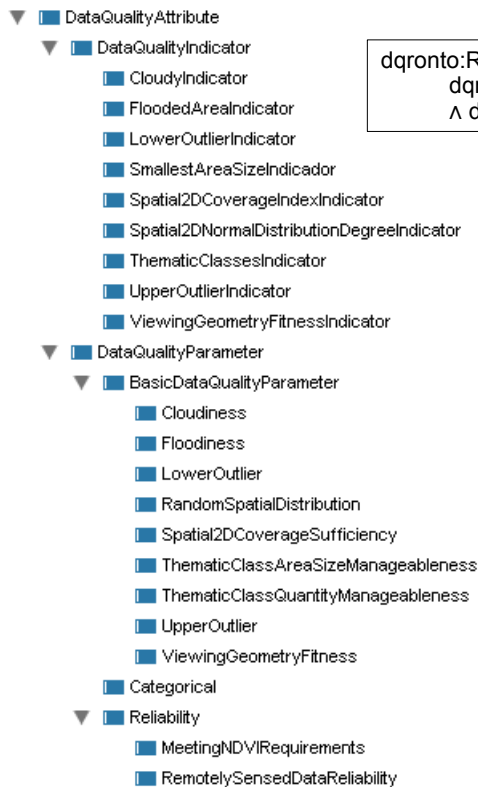
```

dqrnto:Cloudiness(?geodata, dqrnto:False) ←
  processconfig:MaximumCloudyDegree(processconfig:processo, ?MAXCLOUDYDEGREE)
  ∧ dqrnto:CloudyIndicator(?geodata, ?CLOUDYDEGREE)
  ∧ dqrnto:floatValue(?CLOUDYDEGREE, ?floatCLOUDYDEGREE)
  ∧ swrlb:lessThan(?floatCLOUDYDEGREE, ?MAXCLOUDYDEGREE)

dqrnto:ViewingGeometryFitness(?geodata, dqrnto:True) ←
  processconfig:MinimumViewingGeometryFitnessDegree(processconfig:processo,
  ?MINVGFDEGREE)
  ∧ dqrnto:ViewingGeometryFitnessIndicator(?geodata, ?VGFDEGREE)
  ∧ dqrnto:floatValue(?VGFDEGREE, ?floatVGFDEGREE)
  ∧ swrlb:greaterThan(?floatVGFDEGREE, ?MINVGFDEGREE)

```

(a)



(b)

```

dqrnto:RemotelySensedDataReliability(?geodata, dqrnto:True) ←
  dqrnto:Cloudiness(?geodata, dqrnto:False)
  ∧ dqrnto:ViewingGeometryFitness(?geodata, dqrnto:True)

```

(c)

Figura 3.1 - Ontologia de Requisitos de Qualidade. (a) regras primárias; (b) trecho da ontologia de atributos; (c) regra derivada.

### 3.2 Descrição Semântica de Tipos de Geodados

O procedimento para encadeamento de serviços de uma composição é baseado na avaliação da equivalência e subordinação de conceitos modelados em uma ontologia de tipos de dados (PAOLUCCI et al., 2002; GUO et al., 2005; KLUSCH et al., 2006). A descrição semântica dos parâmetros de entrada e saída dos serviços é realizada asso-

ciando esses parâmetros a conceitos da ontologia. Quanto mais precisa é a descrição dos tipos de dados nesta ontologia, mais representativo será o conceito associado às entradas e saídas de um serviço. Isto propicia que o procedimento de encadeamento selecione os serviços mais adequados às tarefas requisitadas na composição.

Este trabalho utiliza uma ontologia de aplicação (GUARINO, 1998) para modelar conceitos de tipos de geodados do domínio de geoprocessamento e análise espacial. A construção de ontologias é uma tarefa tratada na disciplina de *Engenharia de Ontologias* (ANTONIOU; HARMELEN, 2004; NOY; MCGUINNESS, 2001; HITZLER et al., 2009; STUCKENSCHMIDT; HARMELEN, 2004), e não possui uma solução única.

Em nosso caso, assumimos que os tipos de geodados classificam instâncias de geodados formadas por um conjunto homogêneo de entidades, apresentando um atributo espacial obrigatório e um atributo não-espacial opcional. Este conjunto define uma camada de informação (TOMLIN, 1990), unidade elementar de geodado trocada entre serviços. Uma ontologia de atributos (Figura 3.2) descreve quais tipos de atributos espaciais e não-espaciais podem ser associados a uma entidade.

Seguindo a proposta de Medjahed et al. (2003), uma descrição semântica dos papéis dos parâmetros de serviços foi modelada para auxiliar na identificação de possíveis encadeamentos entre serviços. A descrição semântica de papéis complementa a descrição de tipos, permitindo representar a dependência semântica entre tipos de geodados. Como exemplo de aplicação da semântica de papéis, podemos considerar o tipo *SpatialRate*, que representa uma taxa espacial genérica. A geração de um dado de tipo *SpatialRate* requer que um serviço utilize dois conjuntos de dados numéricos como entrada. A utilização da ontologia de papéis de parâmetros permite diferenciar estas entradas como sendo um parâmetro com papel *denominador* e outro com papel *numerador*. Dessa forma, a assinatura do serviço pode ser representada mais detalhadamente por meio da identificação dos tipos de dados utilizados e gerados por um serviço e da descrição de como é a participação dos dados de entrada para produção do dado de saída. Esta dependência entre tipos de dados foi modelada utilizando tipos de dados parametrizados. A Figura 3.3 apresenta algumas classes da ontologia de tipos de geodados e de papéis de parâmetros.

A Figura 3.4 ilustra como o tipo de dado espacial *SpatialRate* pode ser descrito em nossa ontologia. Essa descrição é realizada por meio de restrições sobre propriedades gerais de tipos da ontologia. Nesta ontologia, *SpatialRate* é uma especialização das

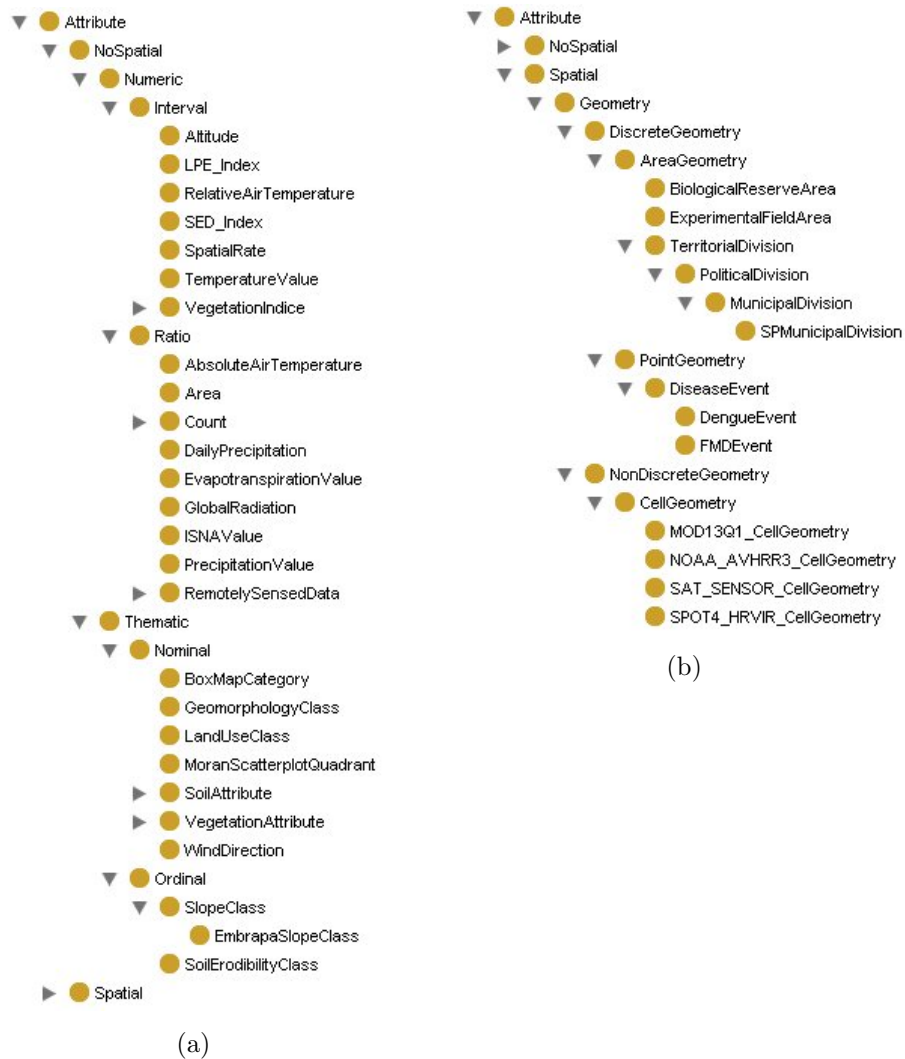


Figura 3.2 - Ontologia de atributos. (a) trecho da ontologia de atributos não-espaciais; (b) trecho da ontologia de atributos espaciais.

classes *SpatialDistribution*, *NumericGeodataType* e *ParameterizedGeodataType*. *SpatialDistribution* indica que as entidades de uma camada de informação do tipo *SpatialRate* possuem atributos espaciais. *SpatialRate* especializa *NumericGeodataType* por meio de uma restrição dos valores da propriedade *hasNoSpatialComponent* para valores de atributo *attr:SpatialRate*. *ParameterizedGeodataType* indica que *SpatialRate* possui no mínimo um parâmetro. Nessa modelagem *SpatialRate* possui parâmetros com papéis *SpatialDenominatorParameter* e *SpatialNumeratorParameter* indicando a sua dependência dos conjuntos de entidades com o papel de denominador e numerador, respectivamente (Figura 3.3(b)). Estes conjuntos denominador



Figura 3.3 - Ontologia de tipo de geodados. (a) tipos de geodados; (b) tipos de parâmetros.

e numerador devem apresentar uma componente não-espacial de tipo *attr:Numeric* (Figura 3.2(a)).

A Figura 3.5 ilustra o cálculo de taxa considerando como numerador o número de leitos disponíveis por estado no Brasil e, como denominador, a população total por estado no ano 2000.

A modelagem de tipos de geodados parametrizados adotada neste trabalho permite uma maior independência da descrição semântica dos tipos da descrição semântica dos serviços. Nas propostas de composição que encontramos na literatura, os tipos de geodados são caracterizados por conceitos atômicos (PAOLUCCI et al., 2002; SIRIN et al., 2004; CONSTANTINESCU et al., 2005; DONG et al., 2007; YUE et al., 2007;

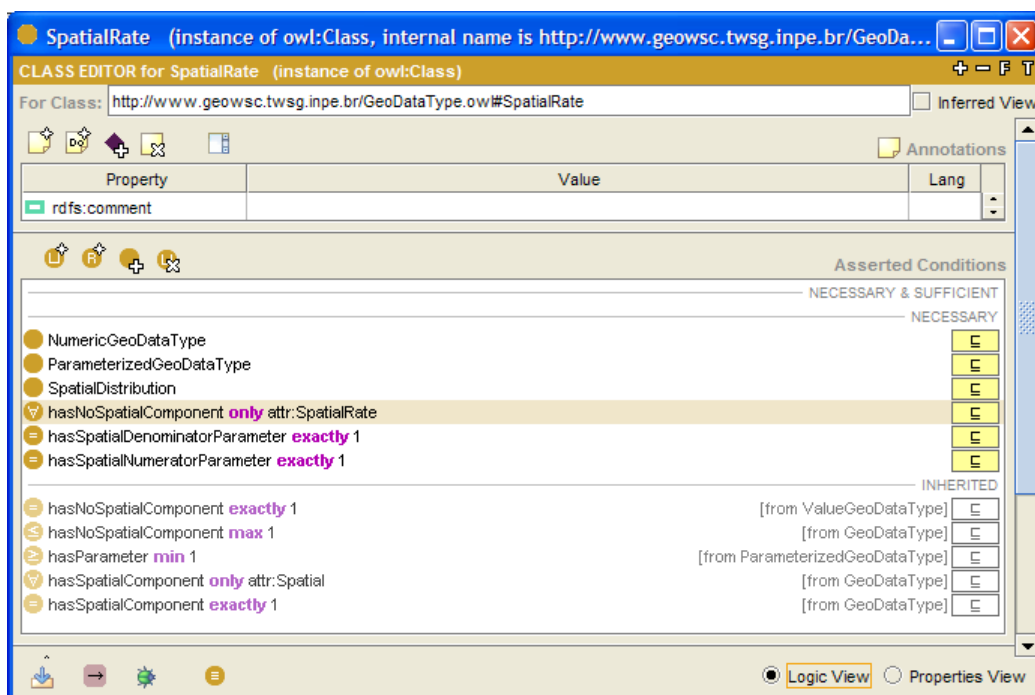
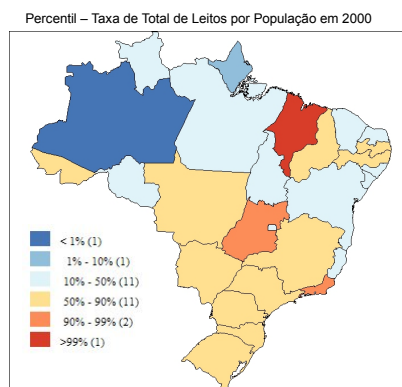


Figura 3.4 - Tipo de geodado *SpatialRate*.

UF	TOTAL LEITOS	POP2000	TOTAL LEITOS /POP2000
AC	1597	557337	0,002865
AL	6648	2817903	0,002359
AM	4452	2840889	0,001567
AP	858	475843	0,001803
BA	29238	13066764	0,002238
CE	16972	7417402	0,002288
DF	4227	2043169	0,002069
...	...	...	...
SP	106299	36966527	0,002876
TO	2977	1155251	0,002577

(a)



(b)

Figura 3.5 - Exemplo de uso de cálculo de taxa. (a) cálculo da taxa; (b) mapa.

KLUSCH et al., 2006). Quando as propriedades de um tipo são consideradas (CARDOSO, 2006), a hierarquia de conceitos é descartada como critério de identificação de compatibilidade de tipos.

Em nosso trabalho, os tipos de geodados parametrizados são utilizados em conjunto com métodos para identificação de equivalência e de subordinação de conceitos.

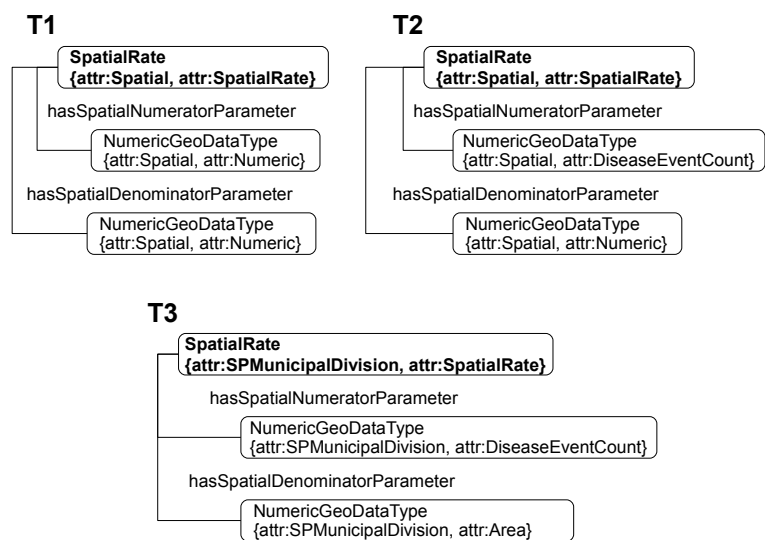
Esta abordagem permite uma descrição sintética dos tipos de geodados manipulados pelos serviços. A Figura 3.6 exemplifica de forma esquemática o uso destes tipos.  $T1$ ,  $T2$  e  $T3$  são três tipos de geodados representando diferentes níveis de especialização do tipo *SpatialRate*, os quais são dependentes dos parâmetros *SpatialNumeratorParameter* e *SpatialDenominatorParameter* (Figura 3.6(a)).

$T1$  descreve uma taxa espacial genérica onde *SpatialNumeratorParameter* e *SpatialDenominatorParameter* podem ser de quaisquer tipos numéricos. Esses dois parâmetros podem ser utilizados na representação semântica de atributos numéricos de uma entidade georreferenciada correspondentes respectivamente ao numerador e ao denominador do cálculo da taxa.  $T2$  representa uma taxa mais especializada onde *SpatialNumeratorParameter* está restrito a tipos de contagem de doenças. Nesse caso o numerador e o denominador de uma taxa podem por exemplo, ser associados respectivamente ao atributo número de casos de dengue dentro de uma área e a área de uma entidade geográfica.  $T3$  é ainda mais especializado e *SpatialNumeratorParameter* e *SpatialDenominatorParameter* estão restritos respectivamente aos tipos de contagem de número de casos de dengue por área de municípios do estado de São Paulo. Os tipos  $T1$ ,  $T2$  e  $T3$  são gerados respectivamente pelos serviços  $S1$ ,  $S2$  e  $S3$  conforme ilustra a Figura 3.6(b).

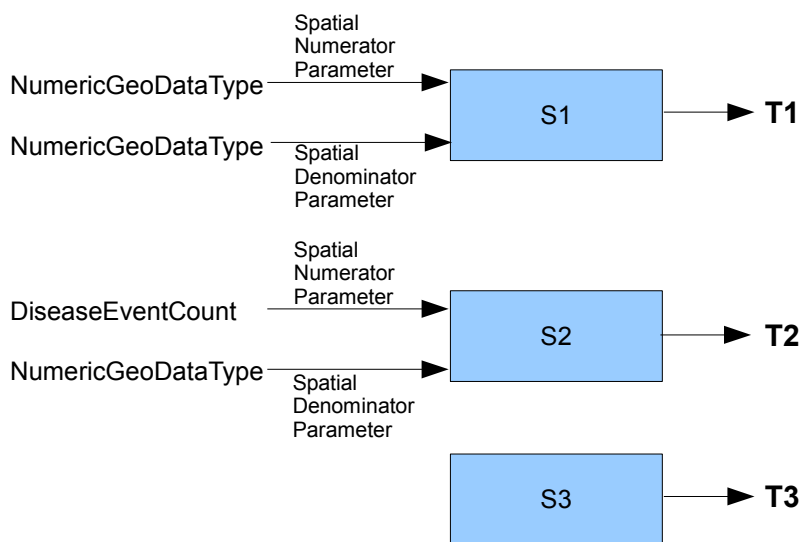
Os três serviços podem atender a necessidade de geração de um dado do tipo  $T3$ .  $S1$  é um serviço genérico capaz de gerar o dado requisitado a partir de dois geodados com atributos numéricos (*NumericGeodataType*).  $S2$  é um serviço especializado no cálculo da taxa tendo como numerador somente dados de contagem de doenças.  $S2$  depende de outros serviços para geração do cálculo de taxa.  $S3$  funciona como um *cache* fornecendo o dado do tipo  $T3$  previamente calculado, sem a necessidade de invocação de outros serviços. A descrição do serviço  $S3$  apoiada no tipo parametrizado permite a descrição da sua saída em termos de sua dependência dos dados de entrada, tornando explicitos aspectos relativos à geração do dado. Essa informação de dependência não pode ser obtida a partir da descrição semântica do serviço  $S3$ , uma vez que ele não possui parâmetros de entrada.

### 3.3 Composição automatizada baseada em Requisitos de Qualidade de Geodados

Um dos fatores que identificamos nos métodos para construção automatizada de composições de serviços geográficos que comprometem a qualidade e confiabilidade



(a)



(b)

Figura 3.6 - Uso de tipos parametrizados. (a) tipos de geodados parametrizados; (b) descrição de serviços com tipos parametrizados.

dos resultados produzidos pela execução destas composições esta relacionado com a falta de robustez no tratamento de dados que não atendem às condições ideais de uso. As representações semânticas dos serviços geográficos não descrevem essas condições e os procedimentos para composição automatizada não fornecem mecanismos para avaliá-las e tratá-las.



Neste trabalho consideramos que as condições de uso de um dado definem situações de conformidade e não-conformidade com os requisitos de qualidade de um serviço geográfico. Imagens de satélite com alto nível de nebulosidade, dados pluviométricos com baixa densidade de informação para um determinado algoritmo de análise e dados de temperatura apresentando excesso de valores atípicos (*outliers*) representam condições adversas que podem ser encontradas durante o tempo de execução de um serviço da composição. Essas condições adversas, apesar de enumeráveis para um determinado tipo de dado e requisito de qualidade, são de ocorrência imprevisível. O ambiente de execução de uma composição define contextos não previstos de interação entre serviços que evidenciam estas situações.

Nossa abordagem para composição automatizada modela estas situações imprevisíveis como um não-determinismo limitado, no contexto de uma estratégia de IA para planejamento condicional. Esta estratégia permite a construção de planos de execução de ações robustos, capazes de atingir as suas metas apesar do efeito das ações nem sempre ocorrerem da forma esperada. Consideramos um ambiente de execução completamente observável, ou seja, o resultado de uma ação, apesar de não-determinístico, pode ser avaliado em tempo de execução, de modo que é possível determinar o seu estado corrente. A partir da determinação do estado corrente do ambiente de execução é possível decidir quais serão as próximas ações do plano a serem executadas. Essas ações de execução condicionada, denominadas de plano de contingência, buscam levar a um estado do ambiente a partir do qual o plano original pode ser retomado (RUSSELL; NORVIG, 2003).

Em geoprocessamento, podemos encontrar ações de mitigação que visam transformar características de um geodado de maneira que ele possa ser utilizado por um determinado procedimento. A Tabela 3.2 apresenta algumas destas ações.

Em nossa abordagem podemos considerar que as situações de conformidade e não-conformidade, a avaliação dos requisitos de qualidade e os procedimentos de mitigação correspondem respectivamente às situações de não-determinismo limitado, a ação de sensoriamento e ao sub-plano de contingência de uma estratégia de planejamento condicional. Nesta modelagem, as situações de não-conformidade identificadas determinam requisitos funcionais para construção do sub-plano de contingência e identificam pontos dentro da composição onde são necessários a inserção de serviços para transformação de propriedades. A Figura 3.7 apresenta um esquema de organização destes elementos em uma composição.

Tabela 3.2 - Não-conformidades e ações de mitigação

Não-conformidade	Tipo de dado	Ações de mitigação
Distribuição espacial aleatória	Distribuição espacial de pontos Distribuição espacial de áreas	Mosaico de geodados, Seleção de fonte alternativa de geodados
Número excessivo de <i>outliers</i>	Conjunto de dados genérico	Remoção de <i>outliers</i> , Suavização estatística genérica
	Conjunto de dados de domínio específico (Ex: Pluviometria, Temperatura)	Suavização estatística específica para domínio
	Conjunto de dados de taxa	Suavização de taxa empírica de Bayes, Suavização de Taxas Espaciais
Cobertura insuficiente	Pontos	Mosaico de geodados,
	Áreas	Seleção de fonte alternativa de geodados, Interpolação
	Imagem	
Não-confiabilidade de pixels	Pixels	Filtragem de dados
Alta granularidade temática	atributos temáticos	Reclassificação
Alta granularidade espacial de áreas	Áreas	Reclassificação

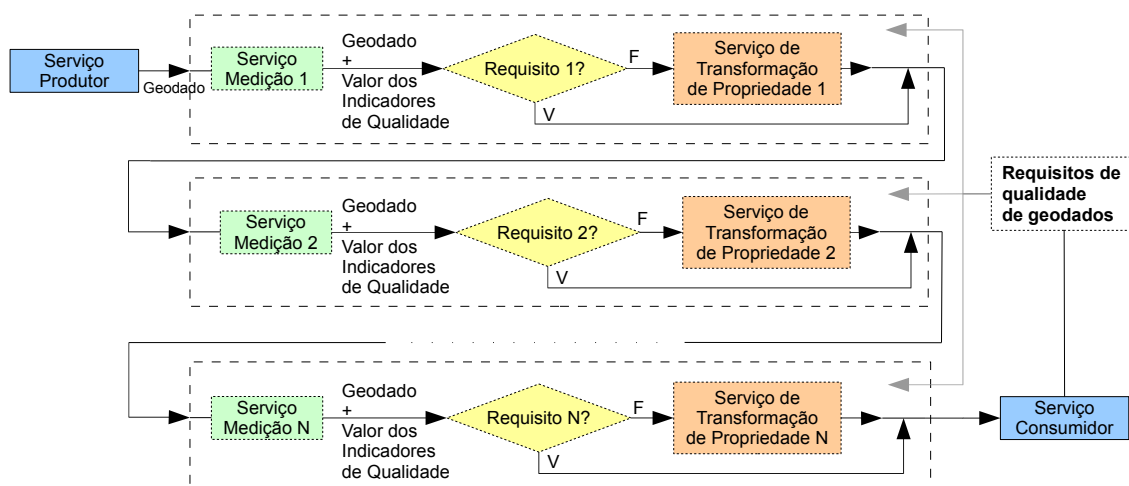


Figura 3.7 - Esquema básico dos elementos de um plano condicional.

Para a construção desse esquema é necessário que uma representação semântica dos requisitos de qualidade de geodados do serviço consumidor esteja disponível em tempo de planejamento. Estes requisitos devem permitir a avaliação de conformidade em tempo de execução para cada instância de geodado que será processada pelo serviço consumidor. Para isto os requisitos de dados devem ser transformados em expressões sobre os valores de parâmetros de qualidade e de indicadores. Estas expressões possibilitam o cálculo dos valores dos parâmetros de qualidade com base em valores de outros parâmetros e de valores de indicadores. Os indicadores de qualidade possuem uma semântica procedural, que permite a avaliação de seus

valores por meio de procedimentos executados sobre os geodados. A definição dos valores dos indicadores com base nestes procedimentos corresponde a execução de uma anotação semântica do geodado visando evidenciar os valores dos seus atributos de qualidade. Esta abordagem corresponde a uma extensão da proposta descrita por [Klien \(2007\)](#), onde ao invés da identificação automática de tipos de geodados foi realizada uma avaliação de atributos de qualidade descritos semanticamente de forma procedural.

Os valores de alguns indicadores utilizados mais frequentemente, tais como escala, resolução temporal, resolução espacial e data de coleta podem ser registrados como metadados. Porém, isto nem sempre é possível uma vez que:

- O cálculo dos valores dos indicadores de qualidade dos dados geoespaciais pode ser necessária para dados novos, gerados durante a execução do processo.
- O caráter dinâmico no estabelecimento dos canais de comunicação entre serviços produtores e consumidores de geodados impede que o valor dos indicadores de qualidade sejam calculados previamente pelos serviços produtores dos geodados. Esta dificuldade ocorre devido a quantidade e variedade de indicadores que podem ser necessários para avaliação dos requisitos de qualidade exigidos pelos diferentes serviços consumidores que podem interagir com um serviço produtor.

Com isto os valores dos indicadores devem ser determinados em tempo de execução da composição por procedimentos implementados como serviços auxiliares. Esses serviços devem ser incluídos na composição durante a fase de planejamento. A partir da especificação dos requisitos de qualidade de dados definidos por um serviço consumidor e do tipo do geodado é possível, conforme ilustrado pela [Figura 3.8](#):

- Determinar quais indicadores de qualidade deverão ser utilizados e quais serviços serão necessários para cálculo dos valores destes indicadores para uma instância de geodado.
- Construir uma expressão para avaliação da aderência da instância de geodado aos requisitos de qualidade.

- Determinar requisitos funcionais para construção de um plano de contingência, a partir da identificação dos requisitos de qualidade que não foram atendidos pela instância de geodados.

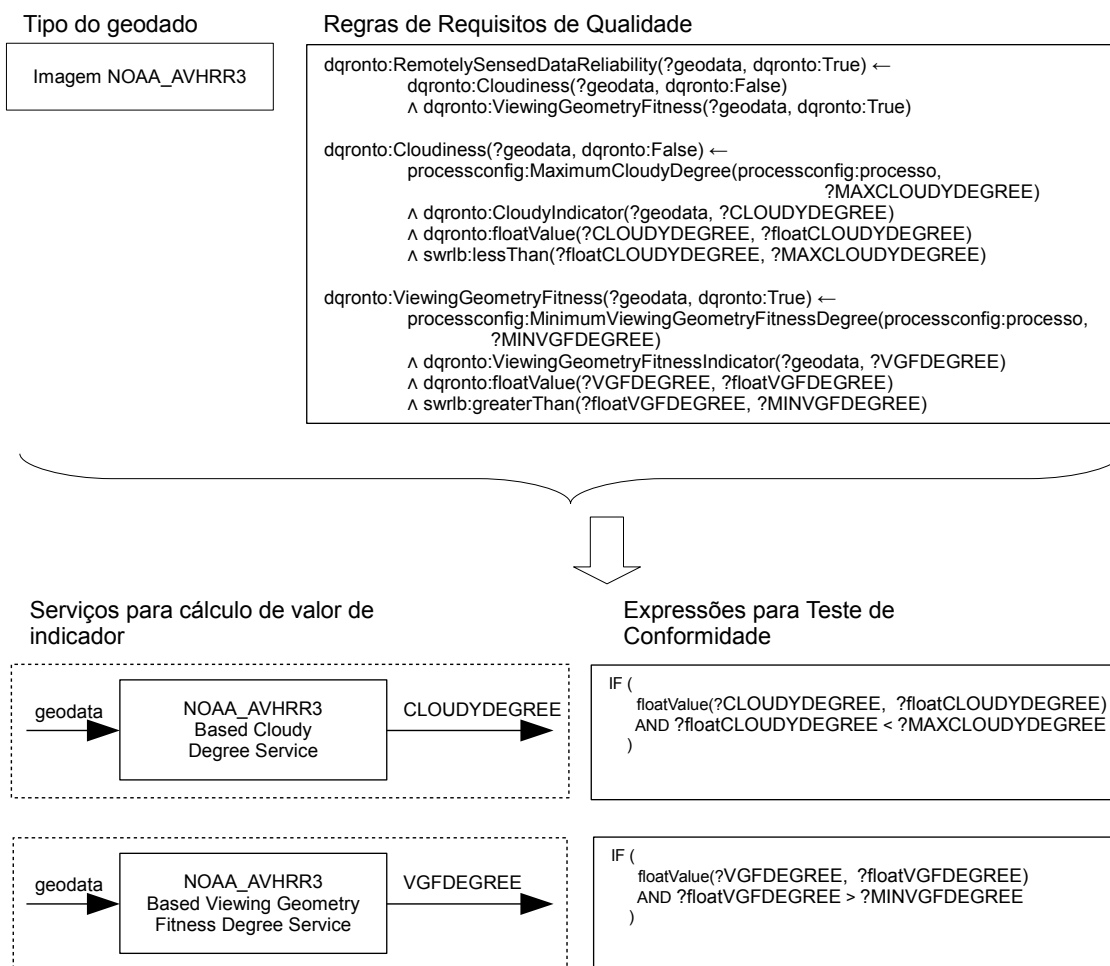


Figura 3.8 - Derivação de elementos do plano de execução de serviços a partir dos requisitos de qualidade.

A detecção de uma não-conformidade com os requisitos de qualidade durante a execução da composição deve disparar a execução de uma ou mais ações de contingência que visam restabelecer as condições de qualidade. A seleção dos serviços que executarão estas ações de contingência é baseada em descrições semânticas das *PE* dos serviços de transformação de propriedades, formada unicamente por expressões sobre as condições de qualidade dos geodados. O procedimento de seleção é mais simples que um procedimento baseada em *PE* genérico, uma vez que são conside-

rados somente conceitos de qualidade com semântica descrita por uma ontologia compartilhada pelas diferentes descrições de serviços.

A Tabela 3.3 apresenta como estas descrições podem ser realizadas com base nos conceitos *Cloudiness* e *ViewingGeometryFitness*. Neste caso dois serviços podem ser selecionados para tratar separadamente cada uma das situações de não-conformidade, exigindo que dois testes de conformidade diferentes sejam realizados. Uma solução alternativa pode ser obtida utilizando o serviço *NOAA AVHRR/3 Based Generic Filter Service* que pode tratar as duas não-conformidades simultaneamente. Nesta solução alternativa, o teste de conformidade deve unificar os dois requisitos de qualidade relativos a *Cloudiness* e *ViewingGeometryFitness*.

Tabela 3.3 - Descrição semântica *IOPE* de serviços baseada em condições de qualidade dos dados

Serviço	Propriedade	Valor
NOAA AVHRR/3 Based Cloudy Filter Service	<i>I</i>	Imagem NOAA AVHRR/3
	<i>O</i>	Imagem NOAA AVHRR/3
	<i>P</i>	$Cloudiness(?geodata, True)$
	<i>E</i>	$Cloudiness(?geodata, False) \wedge Spatial2DCoverageSufficiency(?geodata, False)$
NOAA AVHRR/3 Based Viewing Geometry Fitness Filter Service	<i>I</i>	Imagem NOAA AVHRR/3
	<i>O</i>	Imagem NOAA AVHRR/3
	<i>P</i>	$ViewingGeometryFitness(?geodata, False)$
	<i>E</i>	$ViewingGeometryFitness(?geodata, True) \wedge Spatial2DCoverageSufficiency(?geodata, False)$
NOAA AVHRR/3 Based Generic Filter Service	<i>I</i>	Imagem NOAA AVHRR/3
	<i>O</i>	Imagem NOAA AVHRR/3
	<i>P</i>	$ViewingGeometryFitness(?geodata, False) \vee Cloudiness(?geodata, True)$
	<i>E</i>	$ViewingGeometryFitness(?geodata, True) \wedge Cloudiness(?geodata, False) \wedge Spatial2DCoverageSufficiency(?geodata, False)$

## Procedimento de Composição

Neste trabalho, modelamos o procedimento de composição automatizada de serviços geográficos como um problema de planejamento condicional (Figura 3.9). A construção de uma composição de serviços geográficos neste modelo é realizada em duas fases. A primeira fase seleciona os serviços a serem encadeados considerando a compatibilidade entre os tipos de geodados de entrada e saída. Na fase seguinte, a construção considera os requisitos de qualidade especificados para cada entrada do serviço consumidor de geodados. Os indicadores de qualidade de geodados necessários e os serviços de medição correspondentes são recuperados da base de conhecimento. Os serviços de medição formam um trecho do plano dedicado a extração dos

valores dos indicadores. Expressões dos testes de conformidade são montadas a partir das regras de requisito de qualidade de geodados. Os trechos do plano associados a falha no atendimento aos requisitos são montados utilizando serviços de transformação de propriedades, os quais formam um plano de contingência para tratamento da não-conformidade identificada.

```

function COMPOR(  $D_{init}$ ,  $D_{req}$  ) returns uma composição
{
   $serviços\_marginais \leftarrow$  PREDECESSORES(  $D_{req} - D_{init}$  )
  if (  $serviços\_marginais$  vazio )
    then return composição vazia
   $input\_set \leftarrow \cup$  entradas dos  $serviços\_marginais$ 
   $output\_set \leftarrow \cup$  saídas dos  $serviços\_marginais$ 
  for each  $input_i$  in  $input\_set$ 
  {
     $plano\_qualidade_i \leftarrow$  PLANO-BASEADO-QUALIDADE(  $input_i$  )
  }
   $planos\_qualidade \leftarrow$  Integração dos planos  $plano\_qualidade_i$ 
   $NovoD_{req} \leftarrow D_{req} -$  tipos de dados em  $output\_set \cup$  tipos de dados em  $input\_set$ 
   $NovoD_{init} \leftarrow D_{init} \cup$  tipos de dados em  $output\_set$ 
   $plano \leftarrow$  MERGE(
    MERGE(  $serviços\_marginais$ ,  $planos\_qualidade$  ),
    COMPOR(  $NovoD_{init}$ ,  $NovoD_{req}$  )
  )
  return  $plano$ 
}

function PLANO-BASEADO-QUALIDADE(  $input$  ) returns uma composição
{
  for each  $requisito\_qualidade_i$  in  $input.requisitos\_qualidade$ 
  {
    Gera  $plano\_indicador_i$  a partir de  $requisito\_qualidade_i$ 
    Gera  $expressão\_teste_i$  a partir de  $requisito\_qualidade_i$ 
    Gera  $plano\_contingência_i$  a partir de  $requisito\_qualidade_i$ 
  }
  return
  SEQUENCE (
     $plano\_indicador_1$ ,
    IF  $expressão\_teste_1$  THEN  $plano\_contingência_1$ ,
     $plano\_indicador_2$ ,
    IF  $expressão\_teste_2$  THEN  $plano\_contingência_2$ ,
    ....
     $plano\_indicador_{n-1}$ ,
    IF  $expressão\_teste_{n-1}$  THEN  $plano\_contingência_{n-1}$ ,
     $plano\_indicador_n$ ,
    IF  $expressão\_teste_n$  THEN  $plano\_contingência_n$ 
  )
}

```

Figura 3.9 - Procedimento para composição de serviços baseado em requisitos de qualidade de geodados.

Assumimos que os serviços de transformação de propriedades executam de forma determinística, e quando invocados sempre produzem os efeitos esperados. É necessário assumir também que existe um baixo acoplamento entre os efeitos produzidos por estes serviços, de tal forma que a execução de um serviço não comprometa os efeitos já obtidos durante a execução do plano de contingência.

O procedimento de composição pode adotar umas das alternativas quando não for possível montar um plano de contingência. Na primeira alternativa, o procedimento pode adotar uma abordagem rigorosa, planejando uma exceção para interromper a execução da composição. Em uma segunda alternativa, o procedimento pode adotar um comportamento mais flexível e, ao invés de interromper a execução da composição, pode agendar uma atualização do relatório sobre a sua execução. Esta atualização deve acrescentar no relatório informações sobre a ocorrência da não-conformidade e sobre a falha na determinação de um plano de contingência. Com um comportamento flexível a execução da composição não será interrompida, uma vez que em algumas situações é melhor obter uma estimativa ruim como resposta do que não obter nenhuma resposta.





## 4 PROVA DE CONCEITO E CENÁRIOS DE USO

A Figura 4.1 apresenta a arquitetura geral de um *Sistema para Composição de Serviços Web Geográficos*. A base de conhecimento necessária para automação da composição de serviços é formada pela descrição semântica de serviços, ontologia de tipos de geodados, ontologia de atributos de qualidade de geodados e regras de requisitos de qualidade. As ontologias e regras de requisitos de qualidade devem ter sua construção orientada para um domínio específico de modo que o reuso destes conceitos e regras na descrição semântica de serviços possa ser eficiente.

Este trabalho apresenta uma abordagem para implementação do *Módulo Compositor*. As descrições semânticas de serviços em OWL-S referenciam conceitos da ontologia de tipos de dados e de regras de requisitos de qualidade para expressar respectivamente a sua semântica funcional implícita e as características dos geodados que propiciam a execução ideal do serviço. O registro na base de conhecimento das composições de serviços geradas pelo sistema possibilitam o seu reuso como componentes de outros serviços.

O *Módulo Compositor*, implementado na forma de protótipo para prova de conceito, gera diretamente um arquivo em WS-BPEL, contendo os elementos do plano de execução de serviços. O protótipo foi implementado usando a linguagem de programação Java<sup>1</sup> e a ferramenta Jena<sup>2</sup> versão 2.6.2 como mecanismo de inferência. Jena é uma ferramenta para desenvolvimento de aplicações para Web Semântica que suporta a manipulação de bases de conhecimento nas linguagens OWL, *Resource Description Framework* (RDF) e *Resource Description Framework Schema* (RDFS). A linguagem RDF (MILLER; MANOLA, 2004) é uma proposta do consórcio W3C para a descrição semântica de recursos disponíveis na Web. A idéia básica da RDF está na identificação de recursos através de *Uniform Resource Identifiers* (URI's) (BERNERS-LEE et al., 2005) e na descrição destes recursos em termos de propriedades e valores de propriedades. A linguagem RDF *Schema* ou RDFS (GUHA; BRICKLEY, 2004) complementa o vocabulário da linguagem RDF através da definição de novos termos para descrição de recursos, e desta forma permite a construção de descrições semânticas mais ricas apoiadas na definição de classes, propriedades e seus relacionamentos. A linguagem OWL enriquece ainda mais o vocabulário utilizado na construção de um modelo semântico, por meio da definição de termos para detalhamento da descrição

---

<sup>1</sup>Java SE Overview <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/index.html>

<sup>2</sup>Jena Semantic Web Framework <http://www.openjena.org/>

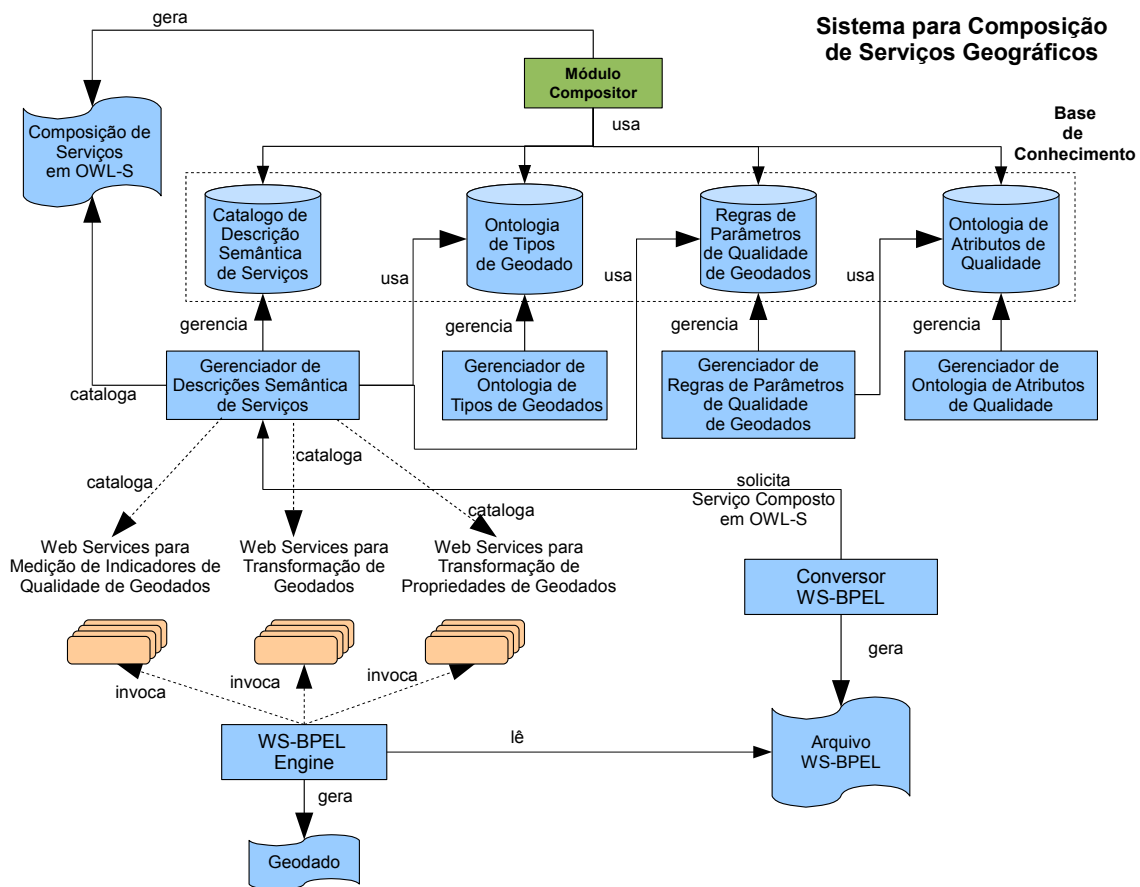


Figura 4.1 - Sistema para composição de serviços geográficos.

das classes e das propriedades. Além do suporte a estas linguagens, a ferramenta Jena implementa a linguagem de consulta *SPARQL Protocol and RDF Query Language*<sup>3</sup> (SPARQL) para consulta a modelos semânticos expressos em RDF. Essa implementação permite a consulta de uma base em OWL, fornecendo uma visão desta como recursos RDF.

A linguagem SPARQL foi utilizada na implementação de *Application Programming Interfaces* (API's) para consulta à base de conhecimento do protótipo.

As ontologias e regras descrevendo conceitos de qualidade foram construídas nas linguagens OWL e SWRL respectivamente, utilizando o editor de ontologias Protégé<sup>4</sup>. As descrições semânticas dos serviços foram realizadas na linguagem OWL-S

<sup>3</sup>SPARQL Query Language for RDF <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

<sup>4</sup>Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System <http://protege.stanford.edu/>

também editadas utilizando a ferramenta Protégé.

O protótipo possui uma interface simplificada que permite a especificação de um tipo de dado por meio da linguagem de aplicação descrita na Figura 4.2(a). A Figura 4.2(b) apresenta um exemplo de especificação de tipo utilizando esta linguagem e que pode ser utilizado para representar a semântica do atributo de uma camada de informação. Esta especificação indica que o valor do atributo foi obtido a partir do cálculo de uma taxa onde o numerador corresponde a contagem de eventos de dengue para um município do estado de São Paulo, e cujo denominador corresponde a área do município. Desta forma a descrição semântica da saída de um serviço que produz este tipo de informação pode ser expressa anotando-a com o tipo descrito nessa especificação.

```

QUERYS → QUERY+
QUERY → queryid "=" QUERYTXT
QUERYTXT → GEODATATYPE | NOGEODATATYPE
NOGEODATATYPE → uri
GEODATATYPE → uri [ "{" SPATIAL_ATTR [ "," NOSPATIAL_ATTR ] "}" ] [ "<" GEOPARAMETER_LIST ">" ]
                | queryref
GEOPARAMETER_LIST → GEOPARAMETER ";" GEOPARAMETER_LIST
GEOPARAMETER → GEOPARAMETERROLE "=" GEODATATYPE
GEOPARAMETERROLE → uri
SPATIAL_ATTR → uri
NOSPATIAL_ATTR → uri

queryid = <identifier>
queryref = $<identifier>

```

(a)

```

type:SpatialRate{ attr:SPMunicipalDivision, attr:SpatialRate }
<
  type:SpatialNumeratorParameter =
    type:NumericGeoDataType{attr:SPMunicipalDivision, attr:DengueEventCount}
  type:SpatialDenominatorParameter =
    type:NumericGeoDataType{attr:SPMunicipalDivision, attr:Area}
>

```

(b)

Figura 4.2 - Especificação de tipos de geodados. (a) linguagem para especificação de tipos de dados; (b) exemplo de especificação de tipo *SpatialRate*.

Uma composição de serviços é construída a partir da especificação de um tipo parametrizado utilizando essa linguagem. A Figura 4.3 apresenta a interface do protótipo, onde o usuário pode selecionar um arquivo previamente preparado contendo um conjunto de especificações de tipos de dados. Após a seleção do arquivo, os tipos de dados especificados são apresentados para escolha pelo usuário. O protótipo per-

mite a seleção do modo de execução *robusto* ou *não-robusto*. No modo *não-robusto* a composição é gerada considerando somente o critério de encadeamento baseado na compatibilidade entre tipos de geodados. No modo *robusto*, além desse critério, são utilizados também os requisitos de qualidade de geodados. O comportamento da composição ao identificar uma não-conformidade de qualidade que não possui plano de contingência pode ser selecionado em *Warn*, onde uma atualização do relatório de execução da composição é planejada para indicar a ocorrência, ou *Throw Exception* onde a geração de uma exceção é planejada para interromper a execução. A construção da composição é realizada de acordo com os parâmetros selecionados, gerando como resultado um arquivo na linguagem WS-BPEL (ALVES et al., 2007) que descreve de maneira simplificada o plano de execução dos serviços.

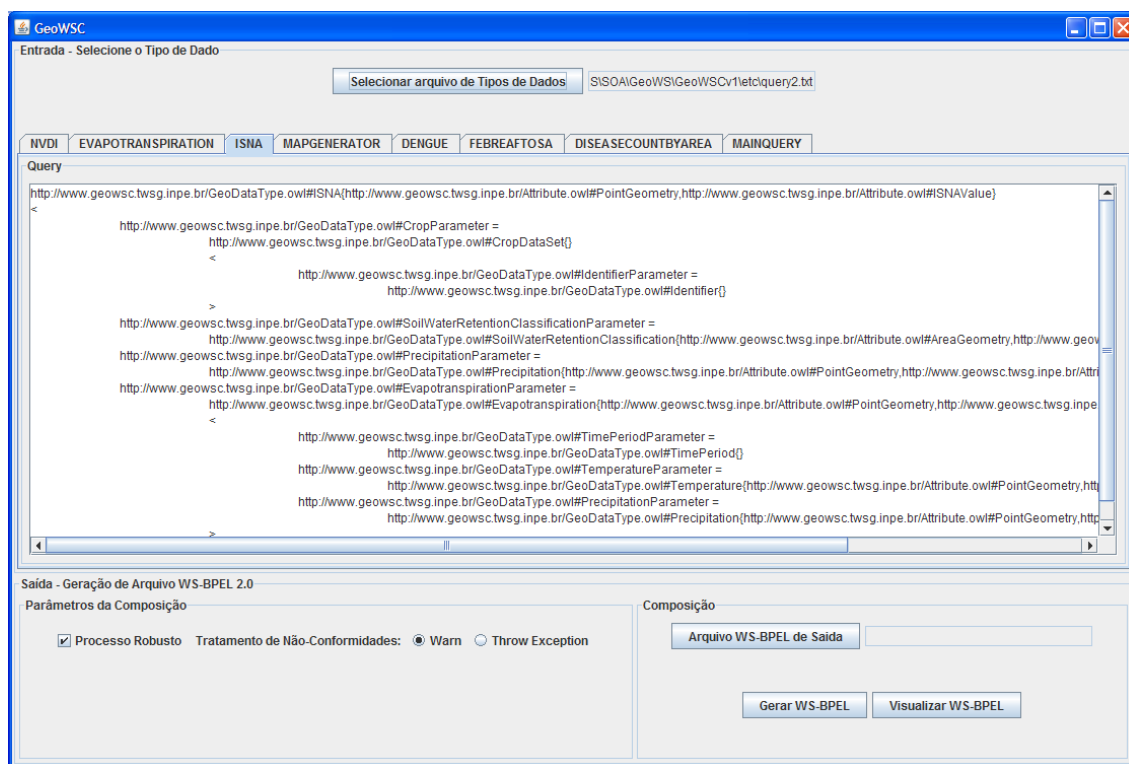


Figura 4.3 - Interface do protótipo.

O protótipo invoca a aplicação Netbeans 6.5.1<sup>5</sup> para visualização dos arquivos WS-BPEL gerados (Figura 4.4).

<sup>5</sup>Welcome to Netbeans <http://netbeans.org/index.html>

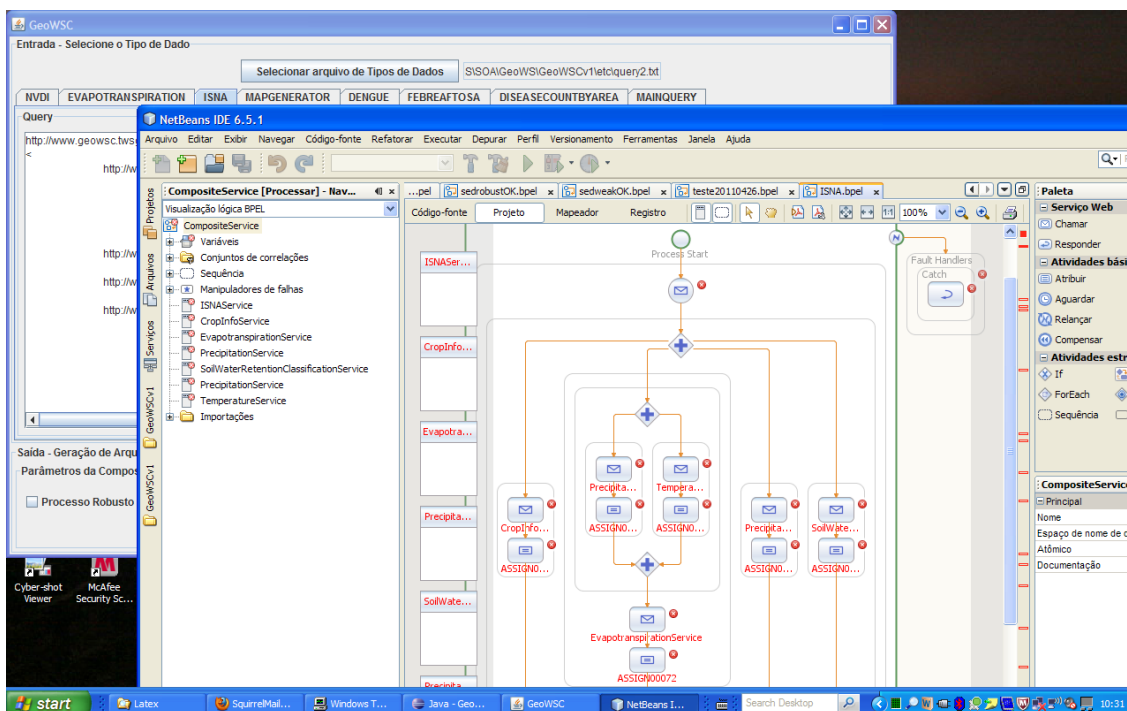


Figura 4.4 - Visualização de arquivo WS-BPEL.

#### 4.1 Cenários de Uso

O protótipo foi utilizado para construção de três composições de serviços, as quais exemplificam soluções para automação de aplicações em geoprocessamento e análise espacial. A primeira aplicação refere-se a geração de um *Mapa de Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA)* (ZULLO et al., 1999). Este índice é um dos elementos principais para determinação de datas ideais de plantio para diferentes culturas. A segunda aplicação é referente ao cálculo do índice de vegetação *NDVI* (BARET; GUYOT, 1991), utilizado por diferentes procedimentos de análise nas mais diferentes áreas, compreendendo desde aplicações agrícolas, previsões de safras, até aplicações ambientais. O terceiro cenário de uso gera um *Mapa de espalhamento de Moran da Taxa de Febre Aftosa por área de município*, e ilustra algumas características de *cache* de dados gerados pelo procedimento de composição. A linguagem de especificação de tipos de geodados foi utilizada na descrição dos dados desejados para cada um dos cenários de uso. Cada descrição de tipo de dado foi posteriormente utilizada como entrada na ferramenta para composição automatizada de serviços gerando como resultado arquivos WS-BPEL correspondentes às versões não-robusta e robusta de aplicações de geoprocessamento. A base de conhecimento utilizada nestes

cenários de uso esta descrita no apêndice A.

#### 4.1.1 Cenário de Uso *Mapa de ISNA*

O *Índice de Satisfação da Necessidade de Água* ou *ISNA* (ZULLO et al., 1999) informa sobre a existência de água em quantidade suficiente para atendimento às necessidades de uma cultura. A quantidade de água disponível das fontes de água consideradas, solo e precipitação, variam de forma sazonal, enquanto a necessidade de água da planta varia durante o seu crescimento. Simulações do valor do *ISNA* apoiadas em modelos climáticos permitem determinar a probabilidade de não-satisfação das necessidades mínimas de água em fases críticas do crescimento da planta, e desta forma possibilita a definição de datas de plantio com menor risco de perda. O cálculo do *ISNA* depende de características fisiológicas da cultura, dados de precipitação, dados de perda de água dos solos e plantas para atmosfera por evaporação (evapotranspiração) e dados sobre capacidade de retenção de água do solo. A necessidade de dados e processamento para cálculo do *ISNA* foi modelada na base de conhecimento em termos de tipos de geodados e descrições semânticas de serviços. Uma descrição completa da base de conhecimento utilizada no protótipo está disponível no apêndice A. Os serviços utilizados para geração do *Mapa de ISNA* são descritos sucintamente na Tabela 4.1

Tabela 4.1 - Serviços usados na composição para o cenário de uso *Mapa de ISNA*

Serviços Web	Descrição
MapGeneratorService	Espacializa uma distribuição de geodados vetoriais.
ISNAService	Calcula Índice de Satisfação de Necessidade de Água para uma cultura a partir de dados de precipitação, evapotranspiração e classificação de capacidade de retenção de água de solo.
CropInfoService	Fornecer dados sobre uma cultura.
EvapotranspirationService	Calcula Evapotranspiração a partir de dados de temperatura, precipitação e período.
PrecipitationService	Fornecer dados sobre precipitação
SoilWaterRetentionClassificationService	Fornecer dados sobre classificação de capacidade de retenção de água de solos.
TemperatureService	Fornecer dados sobre temperatura.
Spatial2DCoverageIndexService	Calcula índice de cobertura de um dado vetorial, quanto a sua quantidade e distribuição espacial.
BoxMapService	Classifica conjunto de dados em quartis e valores atípicos (outliers).

A especificação de tipo de geodado apresentada na Figura 4.5 define a meta para

o procedimento de composição de serviços. Neste caso ela indica que se deseja uma composição que produza a espacialização de valores de ISNA pontuais sobre uma determinada cultura. As figuras Figura 4.6 e Figura 4.7 apresentam respectivamente os diagramas para composição não-robusta e robusta do *Mapa de ISNA*. Estes diagramas estão apresentados na notação do visualizador de arquivos WS-BPEL da ferramenta Eclipse 3.4. Nesta notação, serviços executados em sequência são agrupados por blocos rotulados com o comando *Sequence* e aqueles executados em paralelo são agrupados por blocos marcados por barras horizontais paralelas. Invocações de serviços são indicadas por blocos com o nome dos serviços.

```

$ISNA = type:ISNA{attr:PointGeometry,attr:ISNAValue}
<
  type:CropParameter =
    type:CropDataSet{
      <
        type:IdentifierParameter = type:Identifier{
          >
        }
      >
    }
  type:SoilWaterRetentionClassificationParameter =
    type:SoilWaterRetentionClassification{attr:AreaGeometry,attr:SoilWaterRetentionClass}
  type:PrecipitationParameter =
    type:Precipitation{attr:PointGeometry,attr:PrecipitationValue}
  type:EvapotranspirationParameter =
    type:Evapotranspiration{attr:PointGeometry,attr:EvapotranspirationValue}
    <
      type:TimePeriodParameter = type:TimePeriod{
        type:TemperatureParameter = type:Temperature{attr:PointGeometry,attr:TemperatureValue}
        type:PrecipitationParameter = type:Precipitation{attr:PointGeometry,attr:PrecipitationValue}
      }
    >
  >
type:NumericGeoField { attr:CellGeometry , attr:Numeric }
<
  type:SpatialDistributionParameter = $ISNA
  >

```

Figura 4.5 - Especificação de meta para composição para *Mapa de ISNA*.

A composição *Mapa de ISNA* não-robusta apresenta o encadeamento adequado de serviços que possibilita a sua execução e a geração do mapa. Apesar disto, o mapa gerado pode ser incorreto, caso a quantidade, a distribuição espacial ou os valores dos dados de temperatura não sejam adequados para uso pelo procedimento de cálculo da evapotranspiração. Os diferentes procedimentos de análise espacial, usuários de dados de temperatura, exigem diferentes características qualitativas destes dados. Nesse cenário de uso as características exigidas pelo procedimento de evapotranspiração foram acrescentadas na descrição semântica do serviço *EvapotranspirationService* na forma do requisito de qualidade *CoverageSufficiency* (Tabela 4.2).

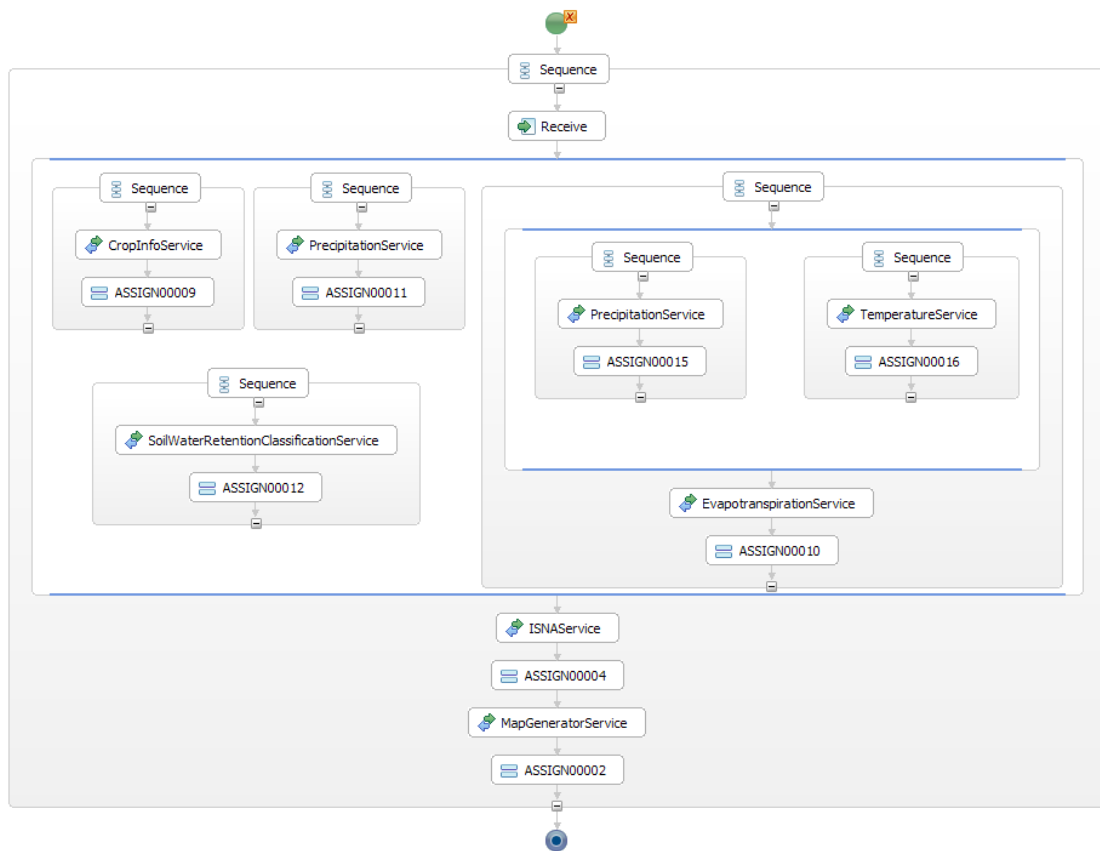


Figura 4.6 - Composição *Mapa de ISNA* não-robusta.

O procedimento de composição utiliza estes requisitos para construção de elementos na composição capazes de avaliar a qualidade do dado de temperatura. A ocorrência de não-conformidade com estes requisitos pode então ser identificada e registrada no relatório de execução da composição. Desta forma a execução da composição obtida apresenta um comportamento mais robusto com relação às características do dado de temperatura, e neste caso além de gerar o *Mapa de ISNA*, fornece ao usuário final informações auxiliares, permitindo uma melhor avaliação dos resultados.



Tabela 4.2 - Regras de requisitos de qualidade de geodados para *Mapa de ISNA*

Conceito	Regra SWRL
Ausência de outliers	$dqronto:Outlier(?geodata, dqronto:False) \leftarrow$ $dqronto:LowerOutlier(?geodata, dqronto:False)$ $\wedge dqronto:UpperOutlier(?geodata, dqronto:False)$
Ausência de outliers inferiores	$dqronto:LowerOutlier(?geodata, dqronto:False) \leftarrow$ $cfg:MaximumLowerOutlierNumbers(cfg:processo, ?MAXLOWEROUTLIERS)$ $\wedge dqronto:LowerOutlierIndicator(?geodata, ?lowerOutlierSet)$ $\wedge dqronto:count(?lowerOutlierSet, ?countlower)$ $\wedge swrlb:lessThan(?countlower, ?MAXLOWEROUTLIERS)$
Ausência de outliers superiores	$dqronto:UpperOutlier(?geodata, dqronto:False) \leftarrow$ $cfg:MaximumUpperOutlierNumbers(cfg:processo, ?MAXUPPEROUTLIERS)$ $\wedge ? dqronto:UpperOutlierIndicator(?geodata, ?upperOutlierSet)$ $\wedge dqronto:count(?upperOutlierSet, ?countupper)$ $\wedge swrlb:lessThan(?countupper, ?MAXUPPEROUTLIERS)$
Cobertura Insuficiente	$dqronto:CoverageSufficiency(?geodata, dqronto:True) \leftarrow$ $dqronto:Spatial2DCoverageSufficiency(?geodata, dqronto:True)$ $\wedge dqronto:Outlier(?geodata, dqronto:False)$
Cobertura 2D insuficiente	$dqronto:Spatial2DCoverageSufficiency(?geodata, dqronto:True) \leftarrow$ $cfg:MaximumSpatial2DCoverageIndex(cfg:processo, ?MAXCOVERINDEX)$ $\wedge cfg:MinimumSpatial2DCoverageIndex(cfg:processo, ?MINCOVERINDEX)$ $\wedge dqronto:Spatial2DCoverageIndexIndicator(?geodata, ?scalarindex)$ $\wedge dqronto:floatValue(?scalarindex, ?index)$ $\wedge swrlb:lessThan(?index, ?MAXCOVERINDEX)$ $\wedge swrlb:greaterThan(?index, ?MINCOVERINDEX)$

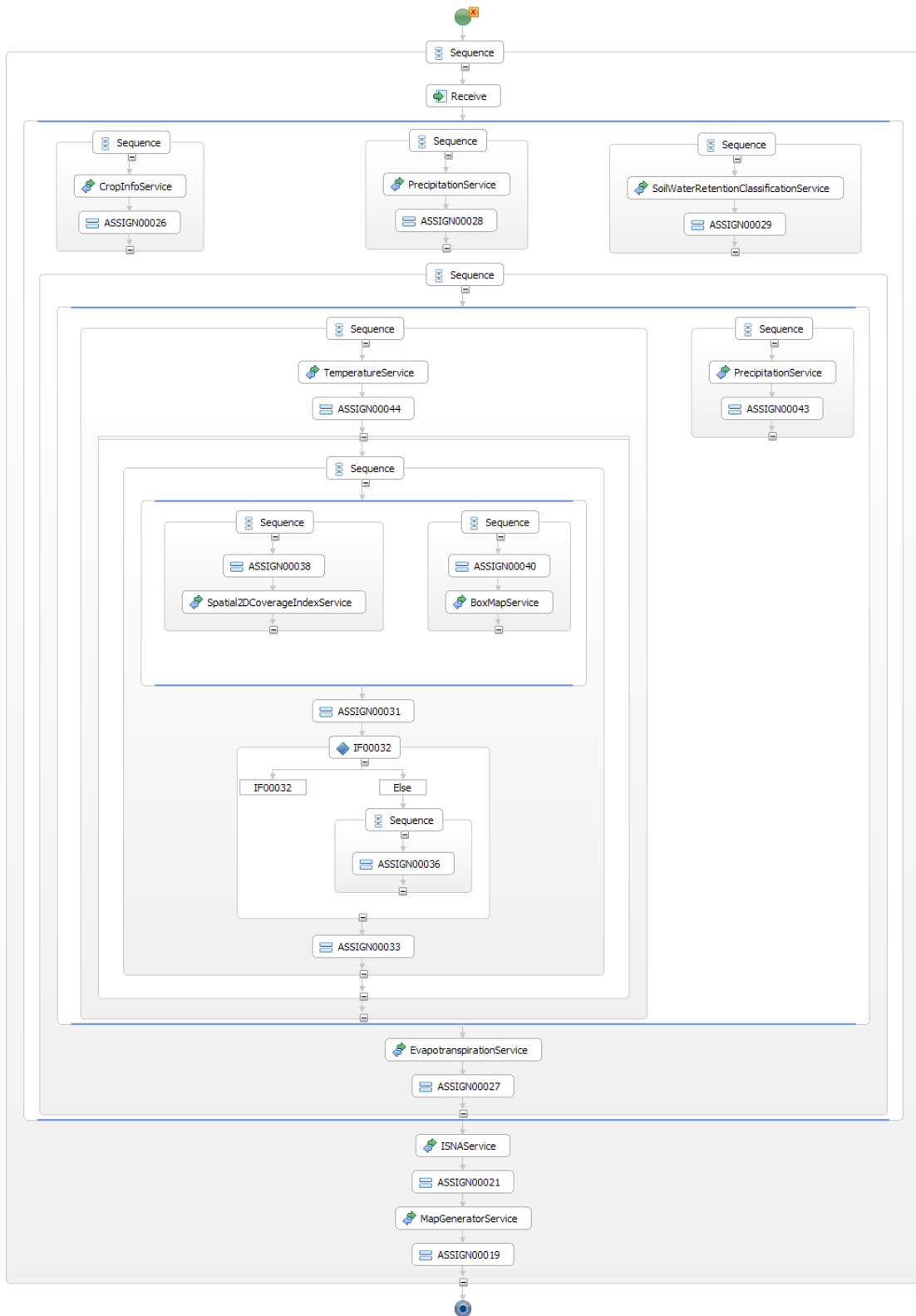


Figura 4.7 - Composição *Mapa de ISNA* robusta.

Tabela 4.3 - Serviços usados na composição para o cenário de uso *NDVI*

Serviços Web	Descrição
NOAA AVHRR/3 DataSet Service	Fornecer dados de sensoriamento remoto georreferenciados dos canais 1, 2, 3A, 3B, 4, 5, Ângulo Zenital Solar e de Elevação do Satélite do sensor NOAA AVHRR/3
NOAA AVHRR/3 Based Flooded Area Degree Service	Calcula o grau de inundação de uma área baseada na avaliação do canal 3A do sensor NOAA/AVHRR3 (ESQUERDO et al., 2006)
NOAA AVHRR/3 Based Cloudy Degree Service	Calcula o grau de nebulosidade de uma área a partir dos canais 1, 2, 4 e 5 do sensor NOAA/AVHRR3 (ESQUERDO et al., 2006; FRANÇA; CRACKNELL, 1995)
NOAA AVHRR/3 Based Viewing Geometry Fitness Degree Service	Calcula a adequação da configuração de ângulos de iluminação e visada do satélite (JACKSON; HUETE, 1991; ??; BARET; GUYOT, 1991)
NOAA AVHRR3 Based Cloudy Filter Service	Eliminação de pixels de nuvens por mascaramento (FRANÇA; CRACKNELL, 1995)
NOAA AVHRR/3 Based NDVI Service	Cálculo de <i>NDVI</i> a partir dos canais 1 e 2 do sensor NOAA AVHRR/3

#### 4.1.2 Cenário de Uso *NDVI*

Este cenário de uso ilustra a aplicação da abordagem proposta para composição de serviços no cálculo do índice *NDVI* a partir de dados do sensor NOAA/AVHRR 3 para a região do Pantanal. As Tabela 4.3 apresenta uma descrição dos serviços utilizados neste cenário (CRUZ et al., 2011b).

Após a inserção das informações necessárias para o cálculo do índice *NDVI* na base de conhecimento, correspondendo às descrições de serviços, tipos de dados, indicadores de qualidade e regras de requisitos de qualidade, a consulta apresentada na Figura 4.8 foi submetida ao mecanismo para geração automatizada de composição de serviços. Esta consulta especifica que se deseja uma composição que produza um dado do tipo *NDVI*, considerando um parâmetro para banda espectral vermelha como sendo o canal 1 do sensor NOAA AVHRR/3 e outro parâmetro para banda espectral próximo do vermelho como sendo o canal 2 do mesmo sensor.

Além das informações relativas ao cálculo do índice *NDVI*, a base de conhecimento utilizada neste cenário apresenta descrições semânticas para outros serviços descritos no apêndice A. O mecanismo de composição selecionou os serviços adequados gerando um plano para execução dos serviços em linguagem WS-BPEL conforme esquema apresentado na Figura 4.9. Esta composição de serviços reflete o conhecimento sobre a região do Pantanal, descrito em artigos científicos utilizados na elaboração da base de conhecimento, ou seja:

```

type:NDVI{ attr:NOAA_AVHRR3_CellGeometry, attr:NormalizedDifferenceVegetationIndex }
<
  type:RedSpectralBandParameter =
    type:NOAA_AVHRR3_Channel_1
      { attr:NOAA_AVHRR3_CellGeometry, attr:NOAA_AVHRR3_Channel_1_Value }
  type:NearInfraRedSpectralBandParameter =
    type:NOAA_AVHRR3_Channel_2
      { attr:NOAA_AVHRR3_CellGeometry, attr:NOAA_AVHRR3_Channel_2_Value }
>

```

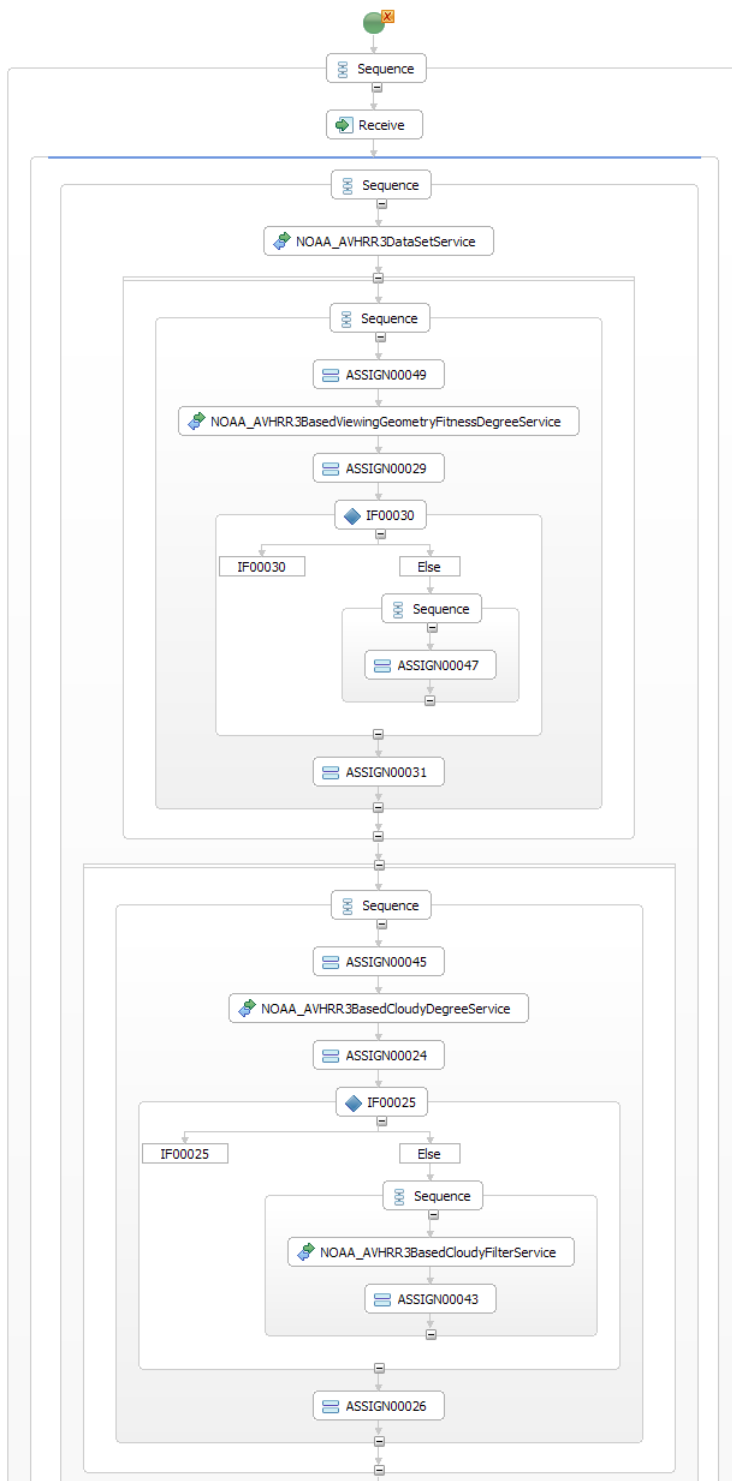
Figura 4.8 - Especificação de meta de composição para cálculo de *NDVI*.

- Adaptação de procedimento para detecção de nuvens refletindo as necessidades específicas da região do Pantanal (ESQUERDO et al., 2006; FRANÇA; CRACKNELL, 1995) ;
- Possibilidade de identificação de região alagada baseada nos dados do canal 3A do sensor NOAA AVHRR/3 (ESQUERDO et al., 2006);
- Avaliação da qualidade do cálculo de índice *NDVI*, baseado no atendimento aos requisitos de qualidade de dados descritos para o serviço. Estes requisitos são baseados em fatores externos e internos ao sensoriamento remoto (JACKSON; HUETE, 1991; BARET; GUYOT, 1991).

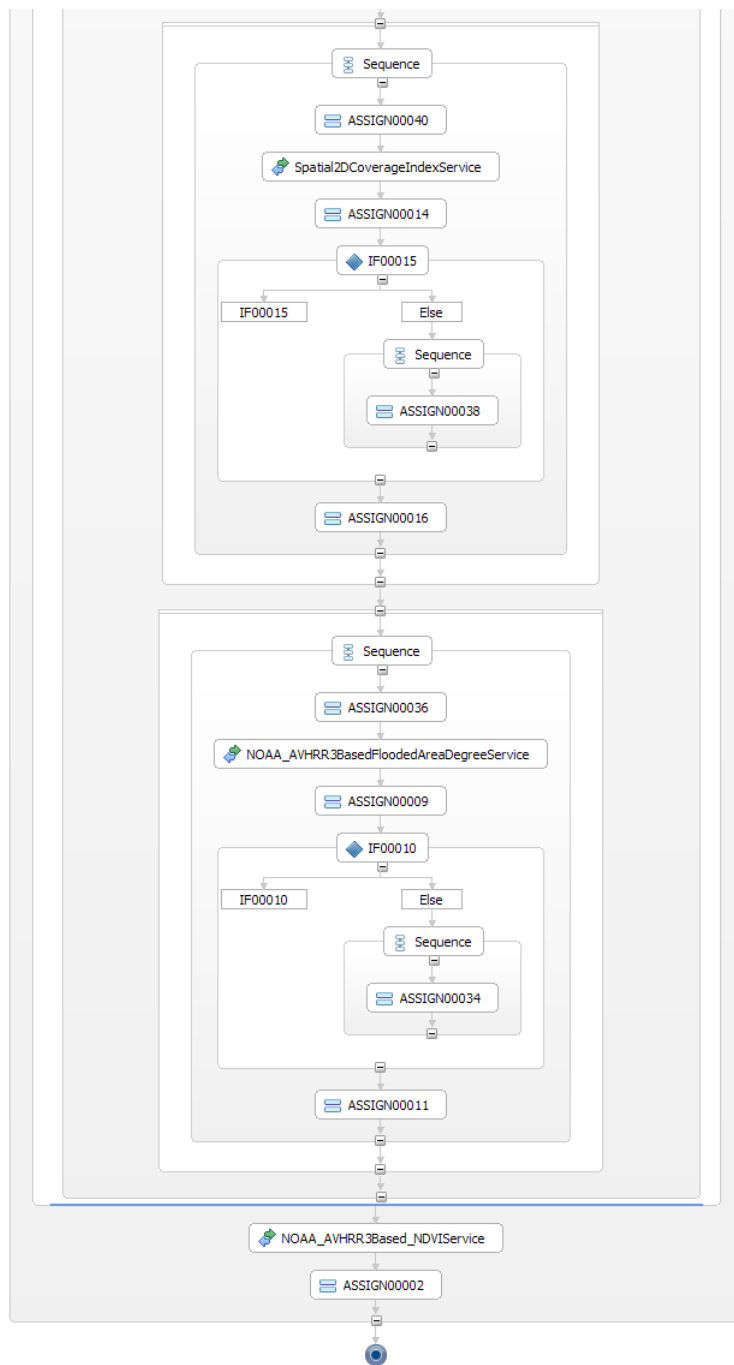
Os serviços que incorporam estes conhecimentos podem ser reutilizados em outras composições de serviços para a região do Pantanal, onde os mesmos tipos de tarefas sejam requisitados.

Nesta composição, as invocações dos serviços indicadores da qualidade dos dados para cálculo do índice *NDVI* são planejadas para serem executadas previamente. As informações extraídas por estes serviços subsidiam a avaliação da qualidade do dado fornecido ao serviço para cálculo do *NDVI*. Nesta composição, os dados de sensoriamento remoto são fornecidos como um conjunto de camadas de informação. Algumas das camadas são utilizadas para o cálculo do *NDVI*, porém outras funcionam como metadados subsidiando a avaliação dos indicadores de qualidade *CloudyIndicator*, *ViewingGeometryFitnessIndicator* e *FloodedAreaIndicator*. A identificação de nebulosidade dispara a execução do filtro implementado pelo serviço *NOAA AVHRR3 Based Cloudy Filter Service* e as demais condições de qualidade não atendidas são registradas no relatório do processo.

Uma base de conhecimento mais completa sobre o Pantanal pode ser desenvolvida



(a)



(b) continuação

Figura 4.9 - Composição robusta para cálculo de *NDVI*.

a partir da análise mais abrangente de outros trabalhos científicos sobre a região. A adoção da metodologia proposta neste trabalho, no contexto da região do Pantanal,

possibilita a organização e catalogação de funcionalidades e algoritmos de geoprocessamento e análise implementadas na forma de serviços Web de maneira sistemática. A base de conhecimento obtida permite o compartilhamento e padronização de critérios de análise entre especialistas sobre a região. A utilização dos serviços na forma simples ou em composições pode ser realizada de maneira confiável uma vez que requisitos de qualidade de geodados estão disponíveis para verificação automática. Estes requisitos podem ser declarados considerando conceitos de qualidade específicos da região do Pantanal, envolvendo aspectos climáticos, topológicos, sociais, etc.

#### 4.1.3 Cenário de Uso *Febre Aftosa*

A *Febre Aftosa* é uma doença viral infecciosa com impactos negativos importantes na produção pecuária. Neste cenário de uso foi criada uma aplicação por meio da composição de serviços para avaliação da autocorrelação espacial da taxa do número de eventos da doença por área de município do estado de São Paulo. A especificação do dado desejado é apresentada na Figura 4.10, onde foi considerado o *Mapa de Espalhamento de Moran* (DRUCK et al., 2004) como o tipo de dado adequado para fornecimento da informação desejada. A Tabela 4.4 apresenta uma descrição sucinta dos serviços utilizados nesta composição e a Tabela 4.5 apresenta as regras de requisitos de qualidade dos geodados referenciadas.

```

type:MoranScatterplotMap { attr:SPMunicipalDivision , attr:MoranScatterplotQuadrant }
<
  type:SpatialDistributionParameter =
    type:SpatialRate { attr:SPMunicipalDivision , attr:SpatialRate }
    <
      type:SpatialNumeratorParameter =
        type:GeoObjectCountByAreaAggregation
        { attr:SPMunicipalDivision ,attr:PointCountArea }
        <
          type:SpatialDistributionParameter =
            type:FMDEvents { attr:PointGeometry }
          type:AreaSpatialDistributionParameter =
            type:SPMunicipalDivisionArea { attr:SPMunicipalDivision , attr:Area }
        >
      type:SpatialDenominatorParameter = type:SPMunicipalDivisionArea
        { attr:SPMunicipalDivision , attr:Area }
    >
  >
>

```

Figura 4.10 - Especificação de meta de composição para cálculo do *Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Aftosa*.

Tabela 4.4 - Serviços usados na composição para o cenário de uso *Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Aftosa*

Serviços Web	Descrição
<i>FMDCattleDiseaseService</i>	Fornecer dados sobre eventos de <i>Febre Aftosa</i>
<i>MoranScatterplotMapService</i>	Calcula um novo atributo temático correspondendo a classificação nos quadrantes do <i>Diagrama Espalhamento de Moran</i>
<i>SpatialRateService</i>	Calcula o valor de um novo atributo numérico correspondendo a taxa entre atributos numéricos
<i>EventCountByAreaService</i>	Calcula o valor de um novo atributo numérico correspondendo ao número de eventos pontuais dentro de uma área.
<i>SPMunicipalDataSetService</i>	Fornecer dados sobre municípios do estado de São Paulo.
<i>NormalDistributionService</i>	Avalia o grau de aderência de uma distribuição de entidades espaciais a uma distribuição espacial normal.
<i>BoxMapService</i>	Classifica valores de atributos de acordo com o método estatístico <i>BoxMap</i> para identificação de valores <i>outliers</i> .
<i>SmoothSpatialRateService</i>	Reduz o número de valores <i>outliers</i> em um geodado sobre taxas.

Tabela 4.5 - Regras de requisitos de qualidade de geodados para *Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Aftosa*

Conceito	Regra SWRL
Ausência de outliers	$Outlier(?geodata, dqrnto:False) \leftarrow$ $cfg:MaximumLowerOutlierNumbers(cfg:process, ?LOWEROUTLIERS)$ $\wedge$ $cfg:MaximumUpperOutlierNumbers(cfg:process, ?UPPEROUTLIERS)$ $\wedge$ $LowerOutlierIndicator(?geodata, ?lowerOutlierSet)$ $\wedge$ $count(?lowerOutlierSet, ?countlower)$ $\wedge$ $swrlb:lessThan(?countlower, ?LOWEROUTLIERS)$ $\wedge$ $UpperOutlierIndicator(?geodata, ?upperOutlierSet)$ $\wedge$ $count(?upperOutlierSet, ?countupper)$ $\wedge$ $swrlb:lessThan(?countupper, ?UPPEROUTLIERS)$
Não-aleatoriedade	$RandomSpatialDistribution(?geodata, dqrnto:False) \leftarrow$ $cfg:MaximumSpatial2DNormalDistributionDegree(cfg:process, ?NORMALPERC)$ $\wedge$ $Spatial2DNormalDistributionDegreeIndicator(?geodata, ?scalarperc)$ $\wedge$ $floatValue(?scalarperc, ?perc)$ $\wedge$ $swrlb:lessThan(?perc, ?NORMALPERC)$

Neste cenário apresentamos duas versões de resultados para a composição. O diagrama apresentado na Figura 4.11 mostra a primeira versão do resultado obtido considerando que os dados sobre os eventos de *Febre Aftosa* estão armazenados em um serviço independente *FMDCattleDiseaseService*. Neste caso o serviço *EventCountByAreaService* deve ser invocado para calcular o número de eventos da doença por município. O resultado deste serviço é utilizado posteriormente dentro da composição para o cálculo da taxa de número de doenças por área de município. Na Figura 4.12 os atributos número de eventos e área do município de ocorrência são fornecidos pelo serviço *SPMunicipalDataSetService*, que funciona como um *cache*, armazenando resultados pré-processados. A seleção de uma versão ou outra pode ser realizada, além da disponibilidade do serviço, por fatores não-funcionais relati-

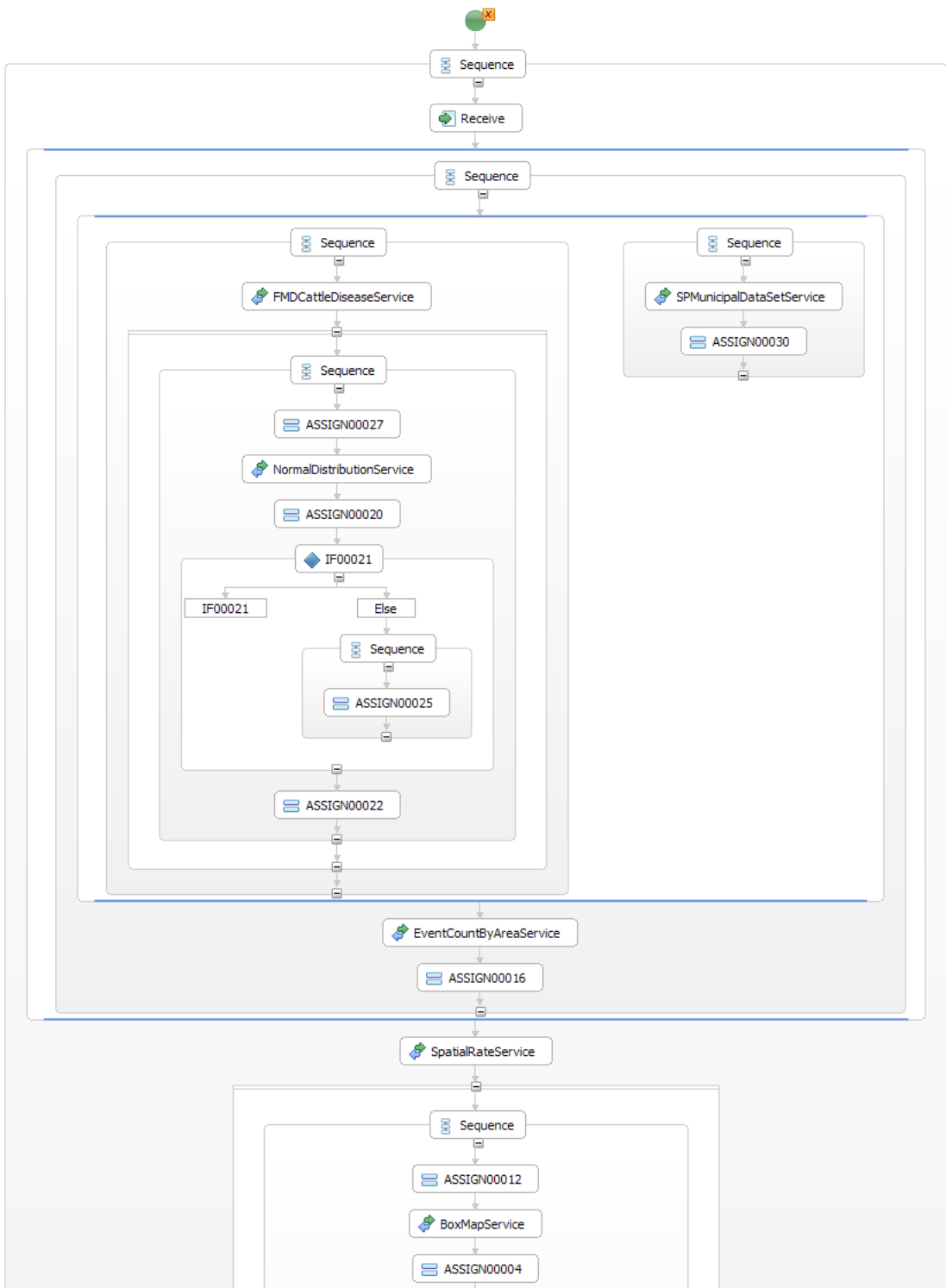


vos a restrições de qualidade dos dados, qualidade dos serviços e contexto definido pela composição.

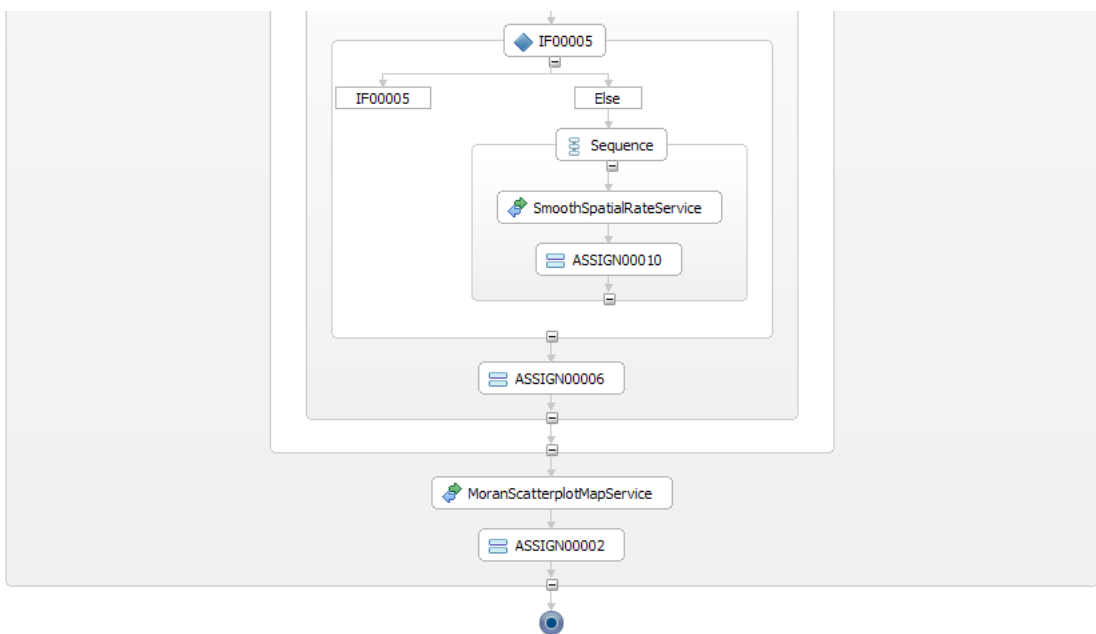
O serviço *FMDCattleDiseaseService* selecionado pode fornecer geodados com distribuição espacial aleatória. O cálculo da taxa de número de eventos por área de município realizado pelo serviço *SpatialRateService* pode apresentar valores *outliers* que comprometem a qualidade dos resultados obtidos pelo serviço *MoranScatterplotMapService*. O diagrama mostrado na Figura 4.11 apresenta elementos para contornar estas situações que poderiam comprometer a qualidade dos resultados gerados pela composição. O serviço *NormalDistributionService* mede o grau de aleatoriedades espacial de uma instância de dado fornecida pelo serviço *FMDCattleDiseaseService*, atribuindo valor para o indicador *Spatial2DNormalDistributionDegreeIndicator*. O relatório de execução da composição registrará uma ocorrência de falha de conformidade caso o valor deste indicador esteja acima daquele definido pelo requisito de qualidade do serviço *EventCountByAreaService*.

O serviço *BoxMapService* determina valores para os indicadores *LowerOutlierIndicator* e *UpperOutlierIndicator*, a partir dos quais pode ser avaliado o número de valores *outliers* total presente na instância de geodado. O serviço para transformação de propriedades *SmoothSpatialRateService* será invocado caso o número de *outliers* esteja acima daquele determinado pelo requisito de qualidade do serviço *MoranScatterplotMapService*.

As regras de requisitos expressando a ausência de valores *outliers* e a não-aleatoriedade na distribuição espacial apresentados na Tabela 4.5 são referenciadas respectivamente pelos serviços *MoranScatterplotMapService* e *EventCountByAreaService*, e subsidiam a inclusão de elementos para manutenção e monitoramento da qualidade dos geodados na composição para geração do *Mapa de Espalhamento de Moran da taxa de Febre Aftosa*.



(a)



(b) continuação

Figura 4.11 - Composição robusta para o *Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Afetosa*.

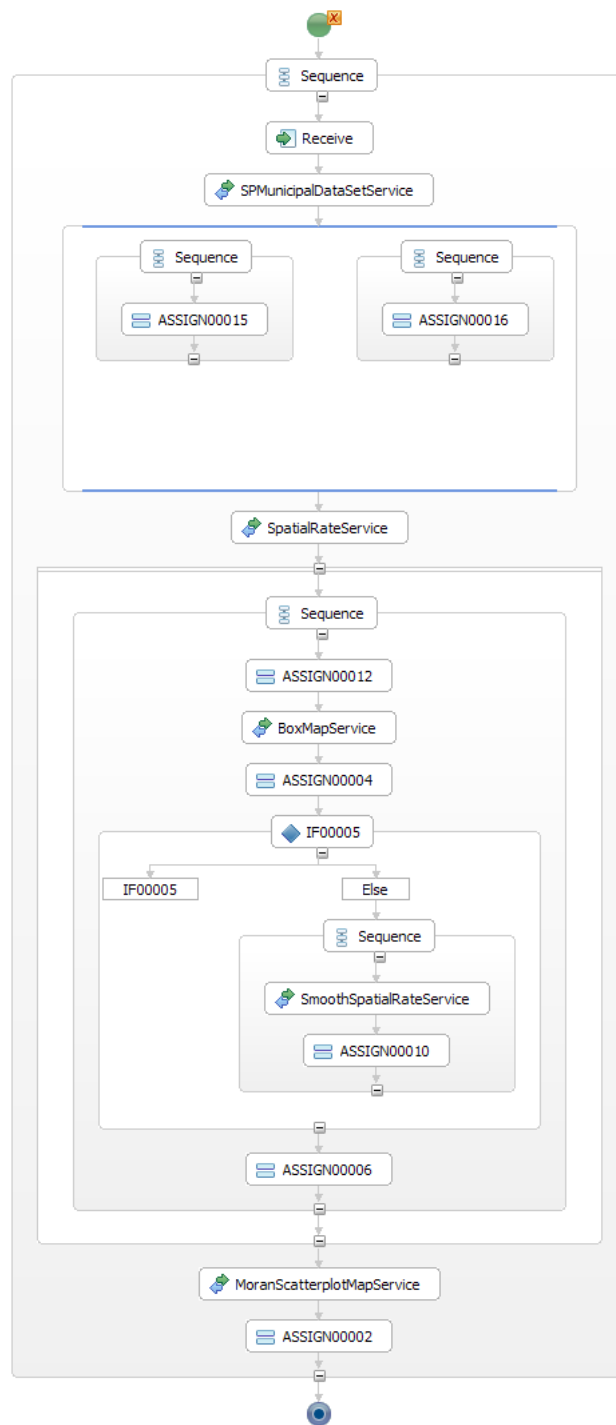


Figura 4.12 - Composição robusta para o *Mapa de Espalhamento de Moran da Febre Afetosa* com cache de dados.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A automação na realização de aplicações em geoprocessamento via um ambiente de computação distribuída representa um grande salto na capacidade de produção de dados e informação geoespaciais. A arquitetura SOA possibilita esta automação, permitindo a integração de serviços para obtenção de aplicações de alto nível. O desenvolvimento manual destas aplicações requer o conhecimento detalhado de uma série de métodos e tecnologias referentes ao desenvolvimento, implantação e utilização de serviços. A automação da construção de composições de serviços geográficos representa um recurso valioso no apoio ao desenvolvimento dessas aplicações. Desta forma, os usuários do domínio de geoprocessamento podem realizar este desenvolvimento mantendo o foco em problemas do domínio, sem a necessidade de contato direto com a infraestrutura para automação das aplicações.

Na literatura existem muitas propostas para realização desta automação, geralmente em um contexto genérico, e que permitem a obtenção de aplicações na forma de uma composição de serviços. O uso efetivo destas composições na resolução de problemas reais requer que a base de conhecimento necessária à sua construção modele adequadamente os diferentes aspectos envolvidos na descrição semântica dos serviços componentes. Este trabalho propõe um aperfeiçoamento desta descrição considerando os aspectos de qualidade de geodados, os quais afetam diretamente a qualidade dos resultados gerados pelas composições. Durante a realização não automatizada das atividades de geoprocessamento, um especialista do domínio experiente executa vários procedimentos para garantir que o resultado final possua um nível de qualidade aceitável para suporte a tomada de decisões. Nossa proposta busca a obtenção desta garantia no contexto da composição de serviços.

As abordagens encontradas na literatura para automação na construção de composições são diferenciadas principalmente pelo modo como representam a capacidade funcional dos serviços componentes (seção 2.3). Esta representação ocorre em termos de modelos semânticos de serviços, tal como o OWL-S, associados a ontologias para classificação de tipos de dados e capacidades funcionais.

Nossa abordagem representa uma contribuição neste contexto ao tratar aspectos dinâmicos na interação entre serviços. Estes aspectos dinâmicos correspondem às variações da qualidade de cada instância de um mesmo tipo de geodado utilizada nas composições. A quantificação da qualidade do geodado habilita a definição de

critérios para aceitação do geodado para uso por um serviço componente. Os critérios de aceitação são expressos por meio de regras de requisitos de qualidade de geodados. Estas regras semânticas relativas à interação entre os serviços são utilizadas na decisão de inclusão de testes de conformidade e de serviços auxiliares na composição que possibilitam a avaliação da qualidade dos geodados processados. O aperfeiçoamento da descrição semântica dos serviços por meio dessas regras fornece uma descrição mais completa da interação entre os serviços.

A associação dessa descrição com a estratégia de planejamento condicional possibilita a construção de composições de serviços capazes de tratar, em tempo de execução, ocorrências de não-conformidade com requisitos de qualidade nas mensagens trocadas entre os serviços componentes. Em consequência, podemos obter composições de serviços mais robustas, capazes de identificar e tratar as variações de qualidade dos geodados consumidos na sua execução, o que promove a geração de geodados finais de melhor qualidade.

Os cenários de uso apresentados ilustram como o fluxo de execução de serviços da composição incorpora elementos para manutenção da qualidade dos geodados em níveis comparáveis aos procedimentos e decisões executadas por um especialista em um ambiente não automatizado (BAILEY; GATRELL, 1995; DRUCK et al., 2004). Porém a automação do processo de composição de serviços geográficos apresenta como vantagens a possibilidade de reuso de composições anteriormente geradas, realização de simulações, a repetibilidade e a sistematização dos procedimentos de análise.

Essa sistematização de procedimentos e a organização de uma base de conhecimento de acordo com a proposta neste trabalho, permite o compartilhamento e padronização de critérios de análise entre especialistas de um domínio. O modelo da base de conhecimento proposta nesta tese pode servir como referência para organização e catalogação de funcionalidades e algoritmos de geoprocessamento descritos em artigos científicos, implementados na forma de serviços. A associação deste modelo a um mecanismo de persistência dos valores de atributos de qualidade pode ser utilizado no gerenciamento da *Proveniência de Dados* ou *Data Provenance* (BUNEMAN et al., 2000), mecanismo útil na atribuição de confiabilidade na produção de geodados. Para obter um uso efetivo da arquitetura SOA na automação da execução de aplicações de geoprocessamento e análise espacial é necessário que a implementação dos serviços Web geográficos siga princípios de reuso, modularidade, autonomia, abstração

e baixo acoplamento preconizados pelo desenvolvimento orientado a serviços (ERL, 2004).

Esta proposta representa um passo inicial na utilização de parâmetros de qualidade na composição automatizada de serviços geográficos. A utilização de aspectos de qualidade de geodados relativos à resolução espaço-temporal e à escala de mapas no processo de composição precisam ser avaliados e explorados. A descrição das metas e o algoritmo para composição devem ser aperfeiçoadas para tratar restrições espaço-temporais.

A arquitetura adotada para o sistema de composição de serviços pode servir de base inicial para implantação de um sistema de gerenciamento de qualidade de geodados para resolução dos problemas enumerados por Hunter et al. (2009) de descrição, completude, padronização de métricas e de vocabulário, controle e uso adequado na tomada de decisões das informações sobre qualidade de geodados.

Finalmente, esta tese pretende ser o ponto de partida para utilização correta da quantidade crescente de geodados disponíveis na forma digital, possibilitando a geração de geodados de qualidade e tomadas de decisões fundamentadas em informações consistentes com a realidade.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, R.; VERMA, K.; MILLER, J.; MILNOR, W. Constraint driven Web service composition in METEOR-S. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICES COMPUTING, 2004, Washington, DC, USA. **Proceedings...** Washington: IEEE Computer Society, 2004. p. 23–30. ISBN 0-7695-2225-4. 8, 15

ALVES, A.; ARKIN, A.; ASKARY, S.; BARRETO, C.; BLOCH, B.; CURBERA, F.; FORD, M.; GOLAND, Y.; GUÍZAR, A.; KARTHA, N.; LIU, C. K.; KHALAF, R.; KÖNIG, D.; MARIN, M.; MEHTA, V.; THATTE, S.; RIJN, D. van der; YENDLURI, P.; YIU, A. **Web services business process execution language version 2.0**. April 2007. Disponível em:  
<<http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/wsbpel-v2.0.pdf>>. 2, 8, 54

ANSELIN, L. **Exploring spatial data with GeoDa: a workbook**. Center for Spatially Integrated Social Science, 2005. 226 p. Disponível em:  
<<http://geodacenter.asu.edu/system/files/geodaworkbook.pdf>>. 31

ANTONIOU, G.; HARMELEN, F. van. **A semantic Web primer**. 2.. ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2004. ISBN 978-0-262-01242-3. 37

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1993. 274 p. 31

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis**. London: London Longman Scientific and Technical, 1995. 26, 30, 31, 72

BARET, F.; GUYOT, G. Potential and limits of vegetation indices for lai and apar assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 161–173, 1991. 31, 55, 61, 62

BENER, A. B.; OZADALI, V.; ILHAN, E. S. Semantic matchmaker with precondition and effect matching using SWRL. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 5, p. 9371 – 9377, 2009. ISSN 0957-4174. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V03-4VFK7V2-6/2/183d698a92064bf59fbab9157b8583cc>>. 9, 15

BERNERS-LEE, T.; FIELDING, R.; MASINTER, L. **Uniform resource identifier (URI): generic syntax**. January 2005. Disponível em:  
<<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3986.txt>>. 51

BOOTH, D.; HAAS, H.; MCCABE, F.; NEWCOMER, E.; CHAMPION, M.; FERRIS, C.; ORCHARD, D. (Ed.). W3C Note, **Web services architecture**. February 2004. Disponível em:  
<<http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-ws-arch-20040211/>>. 7

BOOTH, D.; LIU, C. K. W3C Recommendation, **Web services description language (WSDL) version 2.0 part 0: primer**. June 2007. Disponível em:  
<<http://www.w3.org/TR/wsdl20-primer/>>. 7

BREITMAN, K.; CASANOVA, M. A.; TRUSZKOWSKI, W. **Semantic web: concepts, technologies and applications**. Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2007. (NASA Monographs in Systems and Software Engineering). 13

BRIN, S. **Extracting patterns and relations from the world wide web**. Stanford InfoLab, November 1999. Previous number = SIDL-WP-1999-0119. Disponível em: <<http://ilpubs.stanford.edu:8090/421/>>. 21

BROGE, N. H.; LEBLANC, E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, n. 2, p. 156 – 172, 2001. ISSN 0034-4257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425700001978>>. 31

BUNEMAN, P.; KHANNA, S.; TAN, W.-C. Data provenance: some basic issues. In: FOUNDATIONS OF SOFTWARE TECHNOLOGY AND THEORETICAL COMPUTER SCIENCE, 20., 2000, New Delhi, India. **Proceedings...** New Delhi: Springer Berlin / Heidelberg, 2000. p. 87–93. 10.1007/3-540-44450-5\_6. 72

BURSTEIN, M.; HOBBS, J.; LASSILA, O.; MCDERMOTT, D.; MCILRAITH, S.; NARAYANAN, S.; PAOLUCCI, M.; PARSIA, B.; PAYNE, T.; SIRIN, E.; SRINIVASAN, N.; SYCARA, K. **OWL-S: semantic markup for Web services**. November 2004. Disponível em:  
<<http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-OWL-S-20041122/>>. 11, 12

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. 2004. Disponível em:  
<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. 1

CARDOSO, J. Discovering semantic web services with and without a common ontology commitment. In: IEEE SERVICES COMPUTING WORKSHOPS, 2006,

Chicago, Illinois, USA. **Proceedings...** Washington: IEEE Computer Society, 2006. p. 183–190. ISBN 0-7695-2681-0. Disponível em:  
<<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1173701.1174289>>. 21, 40

CARDOSO, J.; SHETH, A. Semantic e-workflow composition. **Journal of Intelligent Information Systems**, v. 21, n. 3, p. 191225, 2003. 19, 20

CARMAN, M.; SERAFINI, L.; TRAVERSO, P. Web service composition as planning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATED PLANNING AND SCHEDULING - WORKSHOP ON PLANNING FOR WEB SERVICES, 2003, Trento, Italy. **Proceedings...** Trento, Italy, 2003. 2

CHAFLE, G.; DAS, G.; DASGUPTA, K.; KUMAR, A.; MITTAL, S.; MUKHERJEA, S.; SRIVASTAVA, B. An integrated development environment for web service composition. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEB SERVICES, 2007, Salt Lake City, Utah, USA. **Proceedings...** Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2007. p. 839–847. ISBN 0-7695-2924-0. 3

CHIFU, V. R.; POP, M. C. B.; SALOMIE, I.; DINSOREANU, M.; DAVID, T.; ACRETOAIE, V. Ant-based methods for semantic web service discovery and composition. **Ubiquitous Computing and Communication Journal**, Special Issue of RoEduNet, p. 631–641, Outubro 2011. 20

COCKCROFT, S. A taxonomy of spatial data integrity constraints. **Geoinformatica**, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 1, n. 4, p. 327–343, 1997. ISSN 1384-6175. 25, 27, 28, 29

CONSTANTINESCU, I.; BINDER, W.; FALTINGS, B. Flexible and efficient matchmaking and ranking in service directories. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEB SERVICES, 2005, Orlando, Florida, USA. **Proceedings...** Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2005. v. 1, p. 5–12. ISBN 0-7695-2409-5. 3, 9, 15, 39, 40

CRUZ, S. A. B.; MONTEIRO, A. M. V.; SANTOS, R. Increasing process reliability in a geospatial web services composition. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOINFORMATICS, 17., 2009, Fairfax, Virginia, USA. **Proceedings...** Fairfax, Virginia, USA, 2009. ISBN 978-1-4244-4562-2. 25

\_\_\_\_\_. Automated geospatial web services composition based on geodata quality requirements. **Computers & Geosciences**, n. Special Issue: Geoprocessing Web, 2011. Artigo em revisão. 25

\_\_\_\_\_. Development of geoprocessing applications for the Pantanal using automated compositions of web services. **GEOGRAFIA**, v. 36, n. Número Especial, p. 159–172, June 2011. 61

DEVILLERS, R.; BÉDARD, Y.; JEANSOULIN, R.; MOULIN, B. Towards spatial data quality information analysis tools for experts assessing the fitness for use of spatial data. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor & Francis, Inc., Bristol, PA, USA, v. 21, p. 261–282, January 2007. ISSN 1365-8816. Disponível em:

<<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1393386.1393388>>. 4, 26

DONG, T.; LI, Q.; ZHANG, K.; CUI, L. zhen. An extended matching method for semantic Web Service in collaboration environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED COOPERATIVE WORK IN DESIGN, 11., 2007, Melbourne, Australia. **Proceedings...** Melbourne, Australia: Swinburne Press, 2007. p. 508–513. 3, 9, 13, 15, 39, 40

DRUCK, S.; CARVALHO, M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 26, 30, 31, 65, 72

ERL, T. **Service-oriented architecture: a field guide to integrating XML and Web services**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2004. Paperback. ISBN 0131428985. 1, 7, 73

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; BALDWIN, D. G.; EMERY, W. J.; JÚNIOR, Z. J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 18, p. 3925–3942, 2006. Disponível em:  
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160600763956>>. 61, 62

FILETO, R.; LIU, L.; PU, C.; ASSAD, E. D.; MEDEIROS, C. B. POESIA: an ontological workflow approach for composing Web services in agriculture. **The VLDB Journal**, Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, v. 12, n. 4, p. 352–367, 2003. ISSN 1066-8888. 8, 15

- FRANÇA, G. B.; CRACKNELL, A. P. A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime data for tropical areas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, p. 1697–1705, 1995. 61, 62
- FRERICHS, R. History, maps and the internet: UCLAs John Snow site. **Society of Cartographers Bulletin**, v. 34, n. 2, p. 3–7, 2001. 1
- GHALLAB, M.; NAU, D.; TRAVERSO, P. **Automated planning**: theory and practice. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2004. I-XXVIII, 1-635 p. ISBN 1558608567. 9, 15
- GU, J.; LI, X.; HUANG, C.; OKIN, G. S. A simplified data assimilation method for reconstructing time-series MODIS NDVI data. **Advances in Space Research**, v. 44, n. 4, p. 501 – 509, 2009. ISSN 0273-1177. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117709003512>>. 31
- GUARINO, N. Formal ontology and information systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORMAL ONTOLOGIES IN INFORMATION SYSTEMS, 1., 1998, Trento, Italy. **Proceedings...** Amsterdam, The Netherlands: IOS Press, 1998. p. 3–15. 37
- GUHA, R. V.; BRICKLEY, D. W3C Recommendation, **RDF vocabulary description language 1.0: RDF schema**. fev. 2004. [Http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-schema-20040210/](http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-schema-20040210/). 51
- GUO, R.; LE, J.; XIA, X. Capability matching of Web Services based on OWL-S. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON DATABASE AND EXPERT SYSTEMS APPLICATIONS, 16., 2005, Copenhagen, Denmark. **Proceedings...** Copenhagen: IEEE Computer Society, 2005. p. 653–657. ISBN 0-7695-2424-9. 19, 36
- HAMADI, R.; BENATALLAH, B. A Petri net-based model for web service composition. In: AUSTRALASIAN DATABASE CONFERENCE, 14., 2003, Adelaide, Australia. **Proceedings...** Darlinghurst, Australia: Australian Computer Society, Inc., 2003. p. 191–200. ISBN 0-909-92595-X. 8, 15
- HEFLIN, J. W3C Recommendation, **OWL Web ontology language use cases and requirements**. fev. 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-webont-req-20040210/>>. 13
- HITZLER, P.; KRÖTZSCH, M.; RUDOLPH, S. **Foundations of semantic Web technologies**. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 2009. 456 p. 37

HORROCKS, I.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; BOLEY, H.; TABET, S.; GROSOFF, B.; DEAN, M. W3C Member Submission, **SWRL**: a semantic Web rule language combining OWL and RuleML. May 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/Submission/SWRL/>>. 34

HUNTER, G. J. Management issues in gis: accuracy and data quality. In: CONFERENCE ON MANAGING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR SUCCESS, 1996, Melbourne, Australia. **Proceedings...** Parkville, Vic.: Centre for Geographic Information Systems & Modelling, University of Melbourne, 1996. p. 95–101. ISBN 0732513596. 26

HUNTER, G. J.; BREGT, A. K.; HEUVELINK, G. B.; BRUIN, S.; VIRRANTAUS, K. Spatial data quality problems and prospects. In: NAVRATIL, G. (Ed.). **Research Trends in Geographic Information Science**. Springer Berlin Heidelberg, 2009, (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography). p. 101–121. ISBN 978-3-540-88244-2. 10.1007978-3-540-88244-2\_8. Disponível em: <[httpdx.doi.org/10.1007978-3-540-88244-2\\_8](httpdx.doi.org/10.1007978-3-540-88244-2_8)>. 26, 73

Hydrology Committee. Book. **Guidelines for determining flood flow frequency**. Rev. sept. 1981. Washington, D.C.: U.S. Water Resources Council, 1981. 31

ISO/TC 211. **ISO 19114 Geographic information**: quality evaluation procedures. August 2003. 27

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n. 3-4, p. 185 – 200, 1991. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587705800042>>. 31, 61, 62

KLEIN, A.; LEHNER, W. Representing data quality in sensor data streaming environments. **J. Data and Information Quality**, ACM, New York, NY, USA, v. 1, p. 10:1–10:28, September 2009. ISSN 1936-1955. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1577840.1577845>>. 31

KLIEN, E. A rule-based strategy for the semantic annotation of geodata. **Transactions in GIS**, Blackwell Publishing, v. 11, n. 3, p. 437–452, June 2007. ISSN 1361-1682. 45

KLIEN, E.; LUTZ, M. The role of spatial relations in automating the semantic annotation of geodata. In: CONFERENCE ON SPATIAL INFORMATION THEORY, 2005, Ellicottville, NY, USA. **Proceedings...** Germany: Springer, 2005. (Lecture Notes in Computer Science, v. 3693), p. 133–148. ISBN 3-540-28964-X. 21

KLUSCH, M.; FRIES, B.; SYCARA, K. Automated semantic web service discovery with OWLS-MX. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS, 2006, Hakodate, Japan. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM, 2006. p. 915–922. ISBN 1-59593-303-4. 19, 20, 36, 39, 40

KO, J. M.; KIM, C. O.; KWON, I.-H. Quality-of-service oriented web service composition algorithm and planning architecture. **Journal of Systems and Software**, Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, v. 81, n. 11, p. 2079–2090, 2008. ISSN 0164-1212. 3

LAVALLE, S. M. **Planning algorithms**. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2006. 2

LEMMENS, R.; WYTZISK, A.; BY, R. de; GRANELL, C.; GOULD, M.; OOSTEROM, P. van. Integrating semantic and syntactic descriptions to chain geographic services. **IEEE Internet Computing**, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 10, p. 42–52, 2006. ISSN 1089-7801. 3

MARTIN, D.; BURSTEIN, M.; MCDERMOTT, D.; MCILRAITH, S.; PAOLUCCI, M.; SYCARA, K.; MCGUINNESS, D. L.; SIRIN, E.; SRINIVASAN, N. Bringing semantics to Web services with OWL-S. **World Wide Web**, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 10, n. 3, p. 243–277, 2007. ISSN 1386-145X. 2, 13, 14

MARTÍNEZ, E.; LESPÉRANCE, Y. Web service composition as a planning task: experiments using knowledge-based planning. In: WORKSHOP ON PLANNING AND SCHEDULING FOR WEB AND GRID SERVICES, 2004, Whistler, BC, Canada. **Proceedings...** Palo Alto, California: AAAI Press, 2004. p. 62–69. ISBN 978-1-57735-200-6. 15

MCGUINNESS, D. L.; HARMELEN, F. van. W3C Recommendation, **OWL Web ontology language overview**. february 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>>. 33



- MCILRAITH, S.; FADEL, R. Planning with complex actions. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON NON-MONOTONIC REASONING, 9., 2002, Toulouse, France. **Proceedings...** Toulouse, France, 2002. p. 356–364. 13
- MCILRAITH, S. A.; SON, T. C. Adapting golog for composition of semantic web services. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRINCIPLES AND KNOWLEDGE REPRESENTATION AND REASONING, 8., 2002, Toulouse, France. **Proceedings...** San Francisco, California, USA: Morgan Kaufmann, 2002. p. 482–496. ISBN 1-55860-554-1. 13, 15
- MEDJAHED, B.; BOUGUETTAYA, A.; ELMAGARMID, A. K. Composing Web services on the semantic web. **The VLDB Journal**, Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, v. 12, n. 4, p. 333–351, 2003. ISSN 1066-8888. 37
- MILANOVIC, N.; MALEK, M. Current solutions for Web service composition. **IEEE Internet Computing**, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 8, n. 6, p. 51–59, 2004. ISSN 1089-7801. 8
- MILLER, E.; MANOLA, F. W3C Recommendation, **RDF primer**. fev. 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-primer-20040210/>>. 51
- NIST. **NIST/SEMATECH e-handbook of statistical methods**. [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>>. 31
- NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology development 101: a guide to creating your first ontology**. 2001. Disponível em: <[http://protege.stanford.edu/publications/ontology\\_development/ontology101-noy-mcguinness.html](http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101-noy-mcguinness.html)>. 37
- ORRIËNS, B.; YANG, J.; PAPAOGLOU, M. P. Model driven service composition. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE-ORIENTED COMPUTING, 1., 2003, Trento, Italy. **Proceedings...** Germany: Springer, 2003. (Lecture Notes in Computer Science, v. 2910), p. 75–90. ISBN 3-540-20681-7. 15
- O’SULLIVAN, J.; EDMOND, D.; HOFSTEDE, A. T. What’s in a service? **Distributed Parallel Databases**, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 12, p. 117–133, September 2002. ISSN 0926-8782. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=607047.607205>>. 21



PAOLUCCI, M.; KAWAMURA, T.; PAYNE, T. R.; SYCARA, K. P. Semantic matching of web services capabilities. In: INTERNATIONAL SEMANTIC WEB CONFERENCE ON THE SEMANTIC WEB, 1., 2002, Sardinia, Italy.

**Proceedings...** London, UK: Springer-Verlag, 2002. p. 333–347. ISBN 3-540-43760-6. 13, 19, 21, 36, 39, 40

PAPAZOGLU, M. P.; HEUVEL, W.-J. Service oriented architectures: approaches, technologies and research issues. **The VLDB Journal**, Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, v. 16, n. 3, p. 389–415, July 2007. ISSN 1066-8888. 8

PERCIVALL, G. **OGC reference model**: document number ogc 03-040 version: 0.1.3. 2003. Disponível em:

<[http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=3836](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=3836)>. 1

PIPINO, L. L.; LEE, Y. W.; WANG, R. Y. Data quality assessment.

**Communications of the ACM**, ACM, New York, NY, USA, v. 45, n. 4, p. 211–218, 2002. ISSN 0001-0782. 31

POOLE, D. L.; MACKWORTH, A. K. **Artificial intelligence**: foundations of computational agents. USA: Cambridge University Press, 2010. I-XVII, 1-662 p. ISBN 978-0-521-51900-7. 9, 10

RAO, J.; SU, X. A survey of automated Web service composition methods. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SEMANTIC WEB SERVICES AND WEB PROCESS COMPOSITION, 1., 2004, San Diego, CA, USA. **Proceedings...**

Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. (Lecture Notes in Computer Science, v. 3387), p. 43–54. ISBN 978-3-540-24328-1. Disponível em:

<[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-30581-1\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-30581-1_5)>. 2, 8

REITER, R. **The knowledge in action home page**. 2002. Disponível em:

<<http://www.cs.toronto.edu/cogrobo/kia/index.html>>. 13

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence**: a modern approach. 2. ed. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 2003. 2, 3, 9, 15, 43

SHIN, D.-H.; LEE, K.-H. An automated composition of information web services based on functional semantics. In: IEEE CONGRESS ON SERVICES, 2007, Salt Lake City, Utah, USA. **Proceedings...** Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2007. p. 300–307. ISBN 0-7695-2926-7. 12

SIRIN, E.; PARSIA, B.; HENDLER, J. Template-based composition of semantic web services. In: AAAI FALL SYMPOSIUM ON AGENTS AND THE SEMANTIC WEB, 2005, Virginia, USA. **Proceedings...** Palo Alto, CA, USA: AAAI Press, 2005. p. 85–92. ISBN 978-1-57735-247-1. 8, 15, 20

SIRIN, E.; PARSIA, B.; HENDLER, J. A. Filtering and selecting semantic Web services with interactive composition techniques. **IEEE Intelligent Systems**, v. 19, n. 4, p. 42–49, 2004. 2, 3, 9, 12, 15, 39, 40

SKOUTAS, D.; SACHARIDIS, D.; KANTERE, V.; SELLIS, T. Efficient semantic Web service discovery in centralized and P2P environments. In: INTERNATIONAL SEMANTIC WEB CONFERENCE, 7., 2008, Karlsruhe, Germany. **Proceedings...** Germany: Springer Berlin / Heidelberg, 2008, (Lecture Notes in Computer Science, v. 5318). p. 583–598. ISBN 978-3-540-88563-4. 21

SMITH, M. J. de; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. **Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools**. Troubador Publishing, 2007. ISBN 1906221529, 9781906221522. Disponível em: <<http://www.spatialanalysisonline.com/>>. 30

SOLANO, R.; DIDAN, K.; JACOBSON, A.; HUETE, A. **MODIS vegetation indices (MOD13) C5 users guide**. May 2010. Disponível em: <<http://tbrs.arizona.edu/project/MODIS/MOD13.C5-UsersGuide-HTML-v1.00/index.html>>. 31

SRINIVASAN, N.; PAOLUCCI, M.; SYCARA, K. P. An efficient algorithm for OWL-S based semantic search in UDDI. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SEMANTIC WEB SERVICES AND WEB PROCESS COMPOSITION, 1., 2004, San Diego, CA, USA. **Proceedings...** Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. (Lecture Notes in Computer Science, v. 3387), p. 96–110. ISBN 978-3-540-24328-1. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-30581-1\\_9](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-30581-1_9)>. 19

SRIVASTAVA, B.; KOEHLER, J. Web service composition - current solutions and open problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATED PLANNING AND SCHEDULING, 13., 2003, Trento, Italy. **Proceedings...** Palo Alto, California: AAAI, 2003. p. 28–35. ISBN 978-1-57735-187-0. 8

STUCKENSCHMIDT, H.; HARMELEN, F. van. **Information sharing on the semantic Web**. Germany: Springer Verlag, 2004. (Advanced Information and Knowledge Processing). ISBN 978-3-540-20594-4. 37

SYCARA, K.; PAOLUCCI, M.; ANKOLEKAR, A.; SRINIVASAN, N. Automated discovery, interaction and composition of semantic Web services. **Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web**, v. 1, n. 1, p. 27–46, December 2003. ISSN 1570-8268. 3, 9, 12, 15, 19

TOMLIN, C. D. **Geographic Information Systems and Cartographic Modeling**. Englewood Cliffs: Prentice Hall College Div, 1990. ISBN 0133509273. 37

WANG, R. Y.; KON, H. B.; MADNICK, S. E. Data quality requirements analysis and modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA ENGINEERING, 9., 1993, Vienna, Austria. **Proceedings...** Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1993. p. 670–677. ISBN 0-8186-3570-3. 27, 28, 29

YE, L.; CHEN, J. Formal functional description of semantic Web services: the logic description method. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SERVICE-ORIENTED SOFTWARE ENGINEERING, 2006, Shanghai, China. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM, 2006. p. 54–59. ISBN 1-59593-398-0. 3, 9, 13, 15

YUE, P.; DI, L.; YANG, W.; YU, G.; ZHAO, P. Semantics-based automatic composition of geospatial Web service chains. **Computers and Geoscience**, v. 33, n. 5, p. 649–665, 2007. 3, 7, 39, 40

ZHOVTOBRYUKH, D. A Petri net-based approach for automated goal-driven Web service composition. **Simulation**, Society for Computer Simulation International, San Diego, CA, USA, v. 83, n. 1, p. 33–63, 2007. ISSN 0037-5497. 8, 15

ZULLO, J.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; ASSAD, E. D.; PELLEGRINO, G. Q. Climatic risk zoning in the state of Sao Paulo (Brazil). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS APPROACHES FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT, 3., 1999, Lima, Peru. **Proceedings...** Lima: ICASA/CIP/UNALM/IFDC/ILRI, 1999. 55, 56



# APÊNDICE A - BASE DE CONHECIMENTO PARA CENÁRIOS DE USO

## A.1 Ontologia de Conceitos de Qualidade de Dados

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:protege="http://protege.stanford.edu/plugins/owl/protege#"
  xmlns:geodt="http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#"
  xmlns:xsp="http://www.owl-ontologies.com/2005/08/07/xsp.owl#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns="http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#"
  xmlns:swrl="http://www.w3.org/2003/11/swrl#"
  xmlns:swrlb="http://www.w3.org/2003/11/swrlb#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xml:base="http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl">
  <owl:Ontology rdf:about="">
    <owl:imports rdf:resource="http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl"/>
  </owl:Ontology>
  <rdfs:Class rdf:about="http://www.daml.org/services/owl-s/1.2/generic/Expression.owl#Expression"/>
  <rdfs:Class rdf:about="http://www.daml.org/services/owl-s/1.2/generic/Expression.owl#Condition"/>
  <rdfs:Class rdf:about="http://www.daml.org/services/owl-s/1.2/generic/ObjectList.owl#List"/>
  <owl:Class rdf:ID="InfoLayer"/>
  <owl:Class rdf:ID="FloodedAreaDegree">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Percent"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Scalar">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="IndicatorValueType"/>
    </rdfs:subClassOf>
    <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:ID="Set"/>
    </owl:disjointWith>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="ViewingGeometryFitnessDegree">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:about="#Percent"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="LowerOutlierSet">
    <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:ID="ThematicClasses"/>
    </owl:disjointWith>
    <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:ID="UpperOutlierSet"/>
    </owl:disjointWith>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="UpperOutlierSet">
    <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#Percent"/>
    </owl:disjointWith>
  </owl:Class>
  </owl:Class>
```

```

<owl:disjointWith>
  <owl:Class rdf:ID="Spatial2DNormalDistributionDegree"/>
</owl:disjointWith>
<owl:disjointWith>
  <owl:Class rdf:ID="Integer"/>
</owl:disjointWith>
<owl:disjointWith>
  <owl:Class rdf:ID="PositiveInteger"/>
</owl:disjointWith>
<owl:disjointWith>
  <owl:Class rdf:ID="Real"/>
</owl:disjointWith>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Class rdf:about="#Set"/>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="#UpperOutlierSet">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="#Set"/>
  </rdfs:subClassOf>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#ThematicClasses"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Percent"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Spatial2DNormalDistributionDegree"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Integer"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#PositiveInteger"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Real"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#LowerOutlierSet"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Boolean">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:ID="ParameterValue"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="#Percent">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Scalar"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#UpperOutlierSet"/>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Spatial2DNormalDistributionDegree"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Integer"/>
  </owl:disjointWith>

```

```

    <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#PositiveInteger"/>
    </owl:disjointWith>
    <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#Real"/>
    </owl:disjointWith>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#LowerOutlierSet"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="IndicatorValueAssignment">
    <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
      >Instances of this class describes that to get the value forQualityIndicator from a DataType is need use the usingEX
  In this way we can infer which DataTypes are necessary to get a QualityIndicator value

```

```

forQualityIndicator
fromDataType
usingExpression</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="#ThematicClasses">
  <owl:disjointWith rdf:resource="#UpperOutlierSet"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#LowerOutlierSet"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="#Set"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="#Set">
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Scalar"/>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#IndicatorValueType"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="AreaSize">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="#Real"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Spatial2DCoverageIndex">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="#Real"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="#Integer">
  <owl:disjointWith rdf:resource="#UpperOutlierSet"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Percent"/>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Spatial2DNormalDistributionDegree"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#PositiveInteger"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Real"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#LowerOutlierSet"/>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Scalar"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="#Real">

```

```

<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Scalar"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#UpperOutlierSet"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Percent"/>
<owl:disjointWith>
  <owl:Class rdf:about="#Spatial2DNormalDistributionDegree"/>
</owl:disjointWith>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Integer"/>
<owl:disjointWith>
  <owl:Class rdf:about="#PositiveInteger"/>
</owl:disjointWith>
<owl:disjointWith rdf:resource="#LowerOutlierSet"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="#PositiveInteger">
  <owl:disjointWith rdf:resource="#UpperOutlierSet"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Percent"/>
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:about="#Spatial2DNormalDistributionDegree"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Integer"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Real"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#LowerOutlierSet"/>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Scalar"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="CloudyDegree">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Percent"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="#Spatial2DNormalDistributionDegree">
  <owl:disjointWith rdf:resource="#UpperOutlierSet"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Percent"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Integer"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#PositiveInteger"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Real"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#LowerOutlierSet"/>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Percent"/>
</owl:Class>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Outlier">
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:ID="Deviation"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
  <rdfs:domain rdf:resource="#InfoLayer"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Topological">
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:ID="DataQualityParameter"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="BasicDataQualityParameter">
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityParameter"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="SmallestAreaSizeIndicator">
  <rdfs:range rdf:resource="#AreaSize"/>

```



```

<rdfs:subPropertyOf>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="DataQualityIndicator"/>
</rdfs:subPropertyOf>
<rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Scale dependent</rdfs:comment>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Spatial2DCoverageSufficiency">
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#Topological"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Floodiness">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="ThematicClassAreaSizeManageableness">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="CloudyIndicator">
  <rdfs:range rdf:resource="#CloudyDegree"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityIndicator"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#Deviation">
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:ID="Statistical"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#Statistical">
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityParameter"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="RandomSpatialDistribution">
  <rdfs:domain rdf:resource="#InfoLayer"/>
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:ID="Randomness"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="ThematicClassQuantityManageableness">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="UpperOutlierIndicator">
  <rdfs:range rdf:resource="#UpperOutlierSet"/>
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityIndicator"/>
  </rdfs:subPropertyOf>

```

```

</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Reliability">
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityParameter"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="ViewingGeometryFitnessIndicator">
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityIndicator"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#ViewingGeometryFitnessDegree"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="RemotelySensedDataReliability">
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#Reliability"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="LowerOutlier">
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#Deviation"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="hasGeoDataType">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#GeoDataType"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#InfoLayer"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="CoverageSufficiency">
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#Topological"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="ViewingGeometryFitness">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Spatial2DNormalDistributionDegreeIndicator">
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityIndicator"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
  <rdfs:range rdf:resource="#Spatial2DNormalDistributionDegree"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="UpperOutlier">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#Deviation"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="ThematicClassManageableness">
  <rdfs:subPropertyOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityParameter"/>
  </rdfs:subPropertyOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="DataQualityRequirement"/>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="ThematicClassesIndicator">
  <rdfs:range rdf:resource="#ThematicClasses"/>

```

```

<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
<rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>legend items</rdfs:comment>
<rdfs:subPropertyOf>
  <owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityIndicator"/>
</rdfs:subPropertyOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="MeetingNDVIRequirements">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#Reliability"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityIndicator">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#DataQualityRequirement"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#InfoLayer"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#Randomness">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#Statistical"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Spatial2DCoverageIndexIndicator">
  <rdfs:range rdf:resource="#Spatial2DCoverageIndex"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#DataQualityIndicator"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="FloodedAreaIndicator">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#DataQualityIndicator"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#FloodedAreaDegree"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Cloudiness">
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#BasicDataQualityParameter"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#DataQualityParameter">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#DataQualityRequirement"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Categorical">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#DataQualityParameter"/>
</owl:ObjectProperty>
<rdf:Property rdf:about="http://www.daml.org/services/owl-s/1.2/generic/ObjectList.owl#first"/>
<rdf:Property rdf:about="http://www.daml.org/services/owl-s/1.2/generic/ObjectList.owl#rest"/>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="function"/>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="fromParameterType">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>see http://www.w3.org/TR/swbp-n-aryRelations/#useCase1</rdfs:comment>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="floatValue">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#function"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Scalar"/>
</owl:DatatypeProperty>

```

```

<owl:DatatypeProperty rdf:ID="count">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Set"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#function"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Number of elements in a set</rdfs:comment>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="forQualityIndicator">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#IndicatorValueAssignment"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="usingExpression">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#IndicatorValueAssignment"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="LowerOutlierIndicator">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#DataQualityIndicator"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#LowerOutlierSet"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="fromDataType">
  <rdfs:domain rdf:resource="#IndicatorValueAssignment"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_11">
  <fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#BoxMap</fromDataType>
  <usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >*BoxMap.getUpperOutlierSet</usingExpression>
  <forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#UpperOutlierIndicator</forQualityIndicator>
</IndicatorValueAssignment>
<Boolean rdf:ID="True"/>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_1">
  <usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >*CloudyDegree</usingExpression>
  <forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#CloudyIndicator</forQualityIndicator>
  <fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#CloudyDegree</fromDataType>
</IndicatorValueAssignment>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_5">
  <usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >*SmallestAreaSize</usingExpression>
  <fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#SmallestAreaSize</fromDataType>
  <forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#SmallestAreaSizeIndicator</forQualityIndicator>
</IndicatorValueAssignment>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_9">

```

```

<forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
>http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#LowerOutlierIndicator</forQualityIndicator>
<fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
>http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#BoxMap</fromDataType>
<usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>*BoxMap.getLowerOutlierSet</usingExpression>
</IndicatorValueAssignment>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_10">
  <usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >*http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#Spatial2DNormalDistributionDegree</usingExpression>
  <fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#Spatial2DNormalDistributionDegree</fromDataType>
  <forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#Spatial2DNormalDistributionDegreeIndicator</forQualityIndicator>
</IndicatorValueAssignment>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_2">
  <usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >*http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#Spatial2DCoverageIndex</usingExpression>
  <forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#Spatial2DCoverageIndexIndicator</forQualityIndicator>
  <fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#Spatial2DCoverageIndex</fromDataType>
</IndicatorValueAssignment>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_6">
  <usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >*ViewingGeometryFitnessDegree</usingExpression>
  <fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#ViewingGeometryFitnessDegree</fromDataType>
  <forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#ViewingGeometryFitnessIndicator</forQualityIndicator>
</IndicatorValueAssignment>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_3">
  <forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#FloodedAreaIndicator</forQualityIndicator>
  <fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#FloodedAreaDegree</fromDataType>
  <usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >*FloodedAreaDegree</usingExpression>
</IndicatorValueAssignment>
<Boolean rdf:ID="False"/>
<IndicatorValueAssignment rdf:ID="IndicatorValueAssignment_4">
  <forQualityIndicator rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/DQROntology.owl#ThematicClassesIndicator</forQualityIndicator>
  <fromDataType rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI"
  >http://www.geowsc.twsg.inpe.br/GeoDataType.owl#ThematicClassDataSet</fromDataType>
  <usingExpression rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >*ThematicClassDataSet</usingExpression>
</IndicatorValueAssignment>
</rdf:RDF>

<!-- Created with Protege (with OWL Plugin 3.4.4, Build 579) http://protege.stanford.edu -->

```

## A.2 Regras de Requisitos de Qualidade

```
processconfig:MaximumCloudyDegree(processconfig:processo, ?MAXCLOUDYDEGREE)
^ dqrnto:CloudyIndicator(?geodata, ?CLOUDYDEGREE)
^ dqrnto:floatValue(?CLOUDYDEGREE, ?floatCLOUDYDEGREE)
^ swrlb:lessThan(?floatCLOUDYDEGREE, ?MAXCLOUDYDEGREE) ->
    dqrnto:Cloudiness(?geodata, dqrnto:False)

dqrnto:Spatial2DCoverageSufficiency(?geodata, dqrnto:True)
^ dqrnto:Outlier(?geodata, dqrnto:False) ->
    dqrnto:CoverageSufficiency(?geodata, dqrnto:True)

processconfig:MaximumFloodedAreaDegree(processconfig:processo, ?MAXFLOODEDAREADEGREE)
^ dqrnto:FloodedAreaIndicator(?geodata, ?FLOODEDAREADEGREE)
^ dqrnto:floatValue(?FLOODEDAREADEGREE, ?floatFLOODEDAREADEGREE)
^ swrlb:lessThan(?floatFLOODEDAREADEGREE, ?MAXFLOODEDAREADEGREE) ->
    dqrnto:Floodiness(?geodata, dqrnto:False)

processconfig:MaximumLowerOutlierNumbers(processconfig:processo, ?MAXLOWEROUTLIERS)
^ dqrnto:LowerOutlierIndicator(?geodata, ?lowerOutlierSet)
^ dqrnto:count(?lowerOutlierSet, ?countlower)
^ swrlb:lessThan(?countlower, ?MAXLOWEROUTLIERS) ->
    dqrnto:LowerOutlier(?geodata, dqrnto:False)

dqrnto:Floodiness(?geodata, dqrnto:False)
^ dqrnto:Spatial2DCoverageSufficiency(?geodata, dqrnto:True)
^ dqrnto:RemotelySensedDataReliability(?geodata, dqrnto:True) ->
    dqrnto:MeetingNDVIRequirements(?geodata, dqrnto:True)

dqrnto:LowerOutlier(?geodata, dqrnto:False)
^ dqrnto:UpperOutlier(?geodata, dqrnto:False) ->
    dqrnto:Outlier(?geodata, dqrnto:False)

processconfig:MaximumSpatial2DNormalDistributionDegree(processconfig:processo, ?MAXNORMALPERC)
^ dqrnto:Spatial2DNormalDistributionDegreeIndicator(?geodata, ?scalarperc)
^ dqrnto:floatValue(?scalarperc, ?perc) ^ swrlb:lessThan(?perc, ?MAXNORMALPERC) ->
    dqrnto:RandomSpatialDistribution(?geodata, dqrnto:False)

dqrnto:Cloudiness(?geodata, dqrnto:False)
^ dqrnto:ViewingGeometryFitness(?geodata, dqrnto:True) ->
    dqrnto:RemotelySensedDataReliability(?geodata, dqrnto:True)

processconfig:MaximumSpatial2DCoverageIndex(processconfig:processo, ?MAXCOVERINDEX)
^ processconfig:MinimumSpatial2DCoverageIndex(processconfig:processo, ?MINCOVERINDEX)
^ dqrnto:Spatial2DCoverageIndexIndicator(?geodata, ?scalarindex)
^ dqrnto:floatValue(?scalarindex, ?index)
^ swrlb:lessThan(?index, ?MAXCOVERINDEX)
^ swrlb:greaterThan(?index, ?MINCOVERINDEX) ->
    dqrnto:Spatial2DCoverageSufficiency(?geodata, dqrnto:True)

processconfig:MinimumAreaSize(processconfig:processo, ?MINAREASIZE)
^ dqrnto:SmallestAreaSizeIndicator(?geodata, ?AREASIZE)
^ swrlb:greaterThan(?AREASIZE, ?MINAREASIZE) ->
```

```

    dqronto:ThematicClassAreaSizeManageableness(?geodata, dqronto:True)

dqronto:ThematicClassQuantityManageableness(?geodata, dqronto:True)
^ dqronto:ThematicClassAreaSizeManageableness(?geodata, dqronto:True) ->
    dqronto:ThematicClassManageableness(?geodata, dqronto:True)

processconfig:MaximumThematicClassNumber(processconfig:processo, ?MAXTHEMATICCLASSNUMBER)
^ dqronto:ThematicClassesIndicator(?geodata, ?THEMATICCLASSES)
^ count(?THEMATICCLASSES, ?THEMATICCLASSNUMBER)
^ swrlb:lessThan(?THEMATICCLASSNUMBER, ?MAXTHEMATICCLASSNUMBER) ->
    dqronto:ThematicClassQuantityManageableness(?geodata, dqronto:True)

processconfig:MaximumUpperOutlierNumbers(processconfig:processo, ?MAXUPPEROUTLIERS)
^ dqronto:UpperOutlierIndicator(?geodata, ?upperOutlierSet)
^ dqronto:count(?upperOutlierSet, ?countupper)
^ swrlb:lessThan(?countupper, ?MAXUPPEROUTLIERS) ->
    dqronto:UpperOutlier(?geodata, dqronto:False)

processconfig:MinimumViewingGeometryFitnessDegree(processconfig:processo, ?MINVGFDEGREE)
^ dqronto:ViewingGeometryFitnessIndicator(?geodata, ?VGFDEGREE)
^ dqronto:floatValue(?VGFDEGREE, ?floatVGFDEGREE)
^ swrlb:greaterThan(?floatVGFDEGREE, ?MINVGFDEGREE) ->
    dqronto:ViewingGeometryFitness(?geodata, dqronto:True)

```

### A.3 Descrição de Serviços

```

==== Serviço 1 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SAT_SENSOR_BasedCloudyFilterService.owl#
SERVICE URI = servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyFilterService
PROFILE:
    Service Name=Cloudy Filter Service @en
    Text Description=Hypothetic Cloudy Filter Service for SPOT4 HRVIR @en
INPUTS:
    (geodatatype:SAT_SENSOR_Band_SWIR)servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyFilterThermalInput
      as geodatatype:ThermalInfraRed10.3-11.3BandParameter
    (geodatatype:SAT_SENSOR_Band_B2)servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyFilterRedInput
      as geodatatype:RedSpectralBandParameter
    (geodatatype:SAT_SENSOR_BAND_SWIR)servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyFilterNearInfraRedInput
      as geodatatype:NearInfraRedSpectralBandParameter

OUTPUTS:
    (http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SAT_SENSOR_DataSetService.owl#SAT_SENSOR_DataSet)
      servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyFilterOutput

RESULT:
EFFECT:
    dqr:Spatial2DCoverageSufficiency(?servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyFilterRedInput,dqr:False)
    ^ dqr:Cloudiness(?servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyFilterRedInput,dqr:False)

==== Serviço 2 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/Spatial2DCoverageIndexService.owl#
SERVICE URI = servicens:Spatial2DCoverageIndexService
PROFILE:
    Service Name=Coverage Index Service @en

```

Text Description= Coverage Index @en

INPUTS:

(geodatatype:PointSpatialDistribution)servicens:Spatial2DCoverageIndexServiceInput

OUTPUTS:

(geodatatype:Spatial2DCoverageIndex)servicens:Spatial2DCoverageIndexServiceOutput

==== Serviço 3 =====

servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/EventCountByArea.owl#

SERVICE URI = servicens:EventCountByAreaService

PROFILE:

Service Name= Event Count By Area Service @en

Text Description=Calculates Event Count By Area@en

INPUTS:

(geodatatype:AreaSpatialDistribution)servicens:AreaSpatialDistributionInput  
as geodatatype:AreaSpatialDistributionParameter

(geodatatype:SpatialDistribution)servicens:SpatialDistributionInput  
as geodatatype:SpatialDistributionParameter

OUTPUTS:

(geodatatype:GeoObjectCountAreaAggregation)servicens:EventCountByAreaOutput

RESULT:

CONDITION:

dqr:RandomSpatialDistribution(?servicens:SpatialDistributionInput,dqr:False)

==== Serviço 4 =====

servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/Precipitation.owl#

SERVICE URI = servicens:PrecipitationService

PROFILE:

Service Name=Precipitation Measurements@en

Text Description=Return Precipitation Measurements@en

INPUTS:

OUTPUTS:

(geodatatype:Precipitation)servicens:PrecipitationOutput

==== Serviço 5 =====

servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/PrecipitationSmoother.owl#

SERVICE URI = servicens:PrecipitationSmootherService

PROFILE:

Service Name=Precipitation Smoother Service @en

Text Description=Smooth Precipitation@en

INPUTS:

(geodatatype:Precipitation)servicens:PrecipitationSmootherInput  
as geodatatype:PrecipitationParameter

OUTPUTS:

(geodatatype:Precipitation)servicens:PrecipitationSmootherOutput

RESULT:

EFFECT:

dqr:Outlier(?servicens:PrecipitationSmootherInput,dqr:False)

==== Serviço 6 =====

servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/BoxMap.owl#

SERVICE URI = servicens:BoxMapService

PROFILE:



```

Service Name=Box Map Service @en
Text Description=Generate upper outlier, lt 25, gte 25 and lt 50, gte 50 and lt 75, gte 75 and
lower outlier percentis@en
INPUTS:
  (geodatatype:NumericDataSet)servicens:BoxMapInput
OUTPUTS:
  (geodatatype:BoxMap)servicens:BoxMapOutput

==== Serviço 7 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SoilType.owl#
SERVICE URI = servicens:SoilTypeService
PROFILE:
  Service Name=Soil Type Classification@en
  Text Description=Return Soil Type Classification @en
INPUTS:
OUTPUTS:
  (geodatatype:SoilAreaDistribution)servicens:SoilTypeOutput

==== Serviço 8 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SoilErodibility.owl#
SERVICE URI = servicens:SoilErodibilityService
PROFILE:
  Service Name= Event Count By Area Service @en
  Text Description=Calculates Event Count By Area@en
INPUTS:
  (geodatatype:Slope)servicens:SlopeInput as geodatatype:SlopeParameter
  (geodatatype:SoilAreaDistribution)servicens:SoilTypeInput as geodatatype:SoilParameter
OUTPUTS:
  (geodatatype:SoilErodibilityAreaDistribution)servicens:SoilErodibilityOutput

==== Serviço 9 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/UseOccupationOfLand.owl#
SERVICE URI = servicens:UseOccupationOfLandService
PROFILE:
  Service Name=Use and Occupation Of Land Classification Service @en
  Text Description=Use and Occupation Of Land Classification@en
INPUTS:
OUTPUTS:
  (geodatatype:LandUseAreaDistribution)servicens:UseOccupationOfLandOutput

==== Serviço 10 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/ISNA.owl#
SERVICE URI = servicens:ISNAService
PROFILE:
  Service Name=ISNA Service @en
  Text Description=Calculates ISNA ( index of water supply ) @en
INPUTS:
  (geodatatype:SoilWaterRetentionClassification)servicens:ISNASoilWaterRetentionClassificationInput
  as geodatatype:SoilWaterRetentionClassificationParameter
  (geodatatype:Evapotranspiration)servicens:ISNAEvapotranspirationInput
  as geodatatype:EvapotranspirationParameter
  (geodatatype:Precipitation)servicens:ISNAPrecipitationInput
  as geodatatype:PrecipitationParameter
  (geodatatype:CropDataSet)servicens:ISNACropInput

```

```

        as geodatatype:CropParameter
OUTPUTS:
    (geodatatype:ISNA)servicens:ISNAOutput

==== Serviço 11 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/FMDCattleDisease.owl#
SERVICE URI = servicens:FMDCattleDiseaseService
PROFILE:
    Service Name=FMD Cattle Disease Events@en
    Text Description=Return FMDCattleDisease Fever Event Descriptions@en
INPUTS:
OUTPUTS:
    (geodatatype:FMDEvents)servicens:FMDCattleDiseaseOutput

==== Serviço 12 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SmoothSpatialRate.owl#
SERVICE URI = servicens:SmoothSpatialRateService
PROFILE:
    Service Name=Smooth Spatial Rate Service @en
    Text Description=Calculates Spatial Rate@en
INPUTS:
    (geodatatype:SpatialRate)servicens:SmoothSpatialRateInput as geodatatype:SpatialRateParameter
OUTPUTS:
    (geodatatype:SpatialRate)servicens:SmoothSpatialRateOutput

RESULT:
EFFECT:
    dqr:Outlier(?servicens:SmoothSpatialRateInput,dqr:False)

==== Serviço 13 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/MoranScatterplotMap.owl#
SERVICE URI = servicens:MoranScatterplotMapService
PROFILE:
    Service Name=Moran Scatterplot Map Service @en
    Text Description=Generate the Moran Scatterplot Map@en
INPUTS:
    (geodatatype:SpatialDistribution)servicens:MoranScatterplotMapInput
    as geodatatype:SpatialDistributionParameter
OUTPUTS:
    (geodatatype:MoranScatterplotMap)servicens:MoranScatterplotMapOutput

RESULT:
CONDITION:
    dqr:Outlier(?servicens:MoranScatterplotMapInput,dqr:False)

==== Serviço 14 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SpatialRate.owl#
SERVICE URI = servicens:SpatialRateService
PROFILE:
    Service Name=Spatial Rate Service @en
    Text Description=Calculates Spatial Rate@en
INPUTS:
    (geodatatype:NumericGeoDataType)servicens:SpatialNumeratorInput
    as geodatatype:SpatialNumeratorParameter

```

```

        (geodatatype:NumericGeoDataType)servicens:SpatialDenominatorInput
        as geodatatype:SpatialDenominatorParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:SpatialRate)servicens:SpatialRateOutput

==== Serviço 15 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/NormalDistributionService.owl#
SERVICE URI = servicens:NormalDistributionService
PROFILE:
        Service Name=Normal Distribution Service @en
        Text Description= Normal Distribution Percent @en
INPUTS:
        (geodatatype:PointSpatialDistribution)servicens:NormalDistributionServiceInput
OUTPUTS:
        (geodatatype:Spatial2DNormalDistributionDegree)servicens:NormalDistributionServiceOutput

==== Serviço 16 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/Slope.owl#
SERVICE URI = servicens:SlopeService
PROFILE:
        Service Name=Spatial Rate Service @en
        Text Description=Calculates Spatial Rate@en
INPUTS:
        (geodatatype:Altimetry)servicens:AltimetryInput as geodatatype:AltimetryParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:Slope)servicens:SlopeOutput

==== Serviço 17 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/Dengue.owl#
SERVICE URI = servicens:DengueService
PROFILE:
        Service Name=Dengue Events@en
        Text Description=Return Dengue Fever Event Descriptions@en
INPUTS:
OUTPUTS:
        (geodatatype:DengueEvents)servicens:DengueOutput

==== Serviço 18 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/LPE_Index.owl#
SERVICE URI = servicens:LPE_IndexService
PROFILE:
        Service Name=Livestock Pressure on the Environment Index Service @en
        Text Description=Provides the Index of Livestock Pressure on the Environment @en
INPUTS:
OUTPUTS:
        (geodatatype:LPEAreaDistribution)servicens:LPE_IndexOutput

==== Serviço 19 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/CropInfo.owl#
SERVICE URI = servicens:CropInfoService
PROFILE:
        Service Name=Crop Information@en
        Text Description=Return Crop Information, KC index, date stages of plant @en
INPUTS:

```

```

        (geodatatype:Identifier)servicens:CropInfoInput as geodatatype:IdentifierParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:CropDataSet)servicens:CropInfoOutput

==== Serviço 20 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SAT_SENSOR_BasedViewingGeometryFitnessDegreeService.owl#
SERVICE URI = servicens:SAT_SENSOR_BasedViewingGeometryFitnessDegreeService
PROFILE:
        Service Name= Viewing Geometry Fitness Degree Service @en
        Text Description=Calculates the percent of enough viewing geometry fitness in a remotely sensed data@en
INPUTS:
        (geodatatype:SAT_SENSOR__SolarZenithAngle)
                servicens:SAT_SENSOR_BasedViewingGeometryFitnessDegreeServiceSolarZenithAngleInput
                as geodatatype:SolarZenithAngleBandParameter
        (geodatatype:SAT_SENSOR__SatelliteZenithAngle)
                servicens:SAT_SENSOR_BasedViewingGeometryFitnessDegreeServiceSatelliteZenithAngleInput
                as geodatatype:SatelliteZenithAngleBandParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:ViewingGeometryFitnessDegree)servicens:SAT_SENSOR_BasedViewingGeometryFitnessDegreeOutput

==== Serviço 21 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SAT_SENSOR_BasedFloodedAreaDegreeService.owl#
SERVICE URI = servicens:SAT_SENSOR_BasedFloodedAreaDegreeService
PROFILE:
        Service Name= Flooded Area Degree Service @en
        Text Description=Estimate the flooded area percentage based in Antunes and Esquerdo (2006)@en
INPUTS:
        (geodatatype:SAT_SENSOR_Band_SWIR)servicens:SAT_SENSOR_BasedFloodedAreaDegreeServiceMiddleInfraRedInput
                as geodatatype:MiddleInfraRedSpectralBandParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:FloodedAreaDegree)servicens:SAT_SENSOR_BasedFloodedAreaDegreeOutput

==== Serviço 22 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/MapGenerator.owl#
SERVICE URI = servicens:MapGeneratorService
PROFILE:
        Service Name= Map Generator @en
        Text Description=Generate a map from a spatial distribution@en
INPUTS:
        (geodatatype:SpatialDistribution)servicens:MapGeneratorInput as geodatatype:SpatialDistributionParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:NumericGeoField)servicens:MapGeneratorOutput

==== Serviço 23 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SAT_SENSOR_BasedCloudyDegreeService.owl#
SERVICE URI = servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyDegreeService
PROFILE:
        Service Name= Map Generator @en
        Text Description=Generate a map from a spatial distribution@en
INPUTS:
        (geodatatype:SAT_SENSOR_Band_SWIR)servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyDegreeServiceThermalInput
                as geodatatype:ThermalInfraRed10.3-11.3BandParameter
        (geodatatype:SAT_SENSOR_Band_B3)servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyDegreeServiceRedInput
                as geodatatype:RedSpectralBandParameter

```

```

        (geodatatype:SAT_SENSOR_Band_B2)servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyDegreeServiceNearInfraRedInput
        as geodatatype:NearInfraRedSpectralBandParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:CloudyDegree)servicens:SAT_SENSOR_BasedCloudyDegreeOutput

==== Serviço 24 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SoilWaterRetentionClassification.owl#
SERVICE URI = servicens:SoilWaterRetentionClassificationService
PROFILE:
        Service Name=Soil Water Retention Classification@en
        Text Description=Return Soil Water Retention Classification from Brazilian Soil Classification Taxonomy @en
INPUTS:
OUTPUTS:
        (geodatatype:SoilWaterRetentionClassification)servicens:SoilWaterRetentionClassificationOutput

==== Serviço 25 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SED_Index.owl#
SERVICE URI = servicens:SED_IndexService
PROFILE:
        Service Name=Index Map of Susceptibility to Environmental Degradation @en
        Text Description=Generate a Index Map of Susceptibility to Environmental Degradation @en
INPUTS:
        (geodatatype:SoilErodibilityAreaDistribution)servicens:SoilErodibilityInput
        as geodatatype:SoilErodibilityParameter
        (geodatatype:LandUseAreaDistribution)servicens:UseOccupationOfLandInput
        as geodatatype:LandUseAreaDistributionParameter
        (geodatatype:LPEAreaDistribution)servicens:LPE_IndexInput
        as geodatatype:LPEAreaDistributionParameter
        (geodatatype:NDVI)servicens:LAIMeterInput
        as geodatatype:LAIMeterParameter
        (geodatatype:Precipitation)servicens:PrecipitationInput
        as geodatatype:PrecipitationParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:SEDGeoField)servicens:SED_IndexOutput

RESULT:
CONDITION:
        dqr:CoverageSufficiency(?servicens:PrecipitationInput,dqr:True)

==== Serviço 26 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SAT_SENSOR_Based_NDVIService.owl#
SERVICE URI = servicens:SAT_SENSOR_Based_NDVIService
PROFILE:
        Service Name= NDVI for SPOT 4 HRVIR @en
        Text Description=Generate NDVI for SPOT 4 HRVIR @en
INPUTS:
        (geodatatype:SAT_SENSOR_Band_B2)servicens:SAT_SENSOR_Based_NDVIServiceRedInput
        as geodatatype:RedSpectralBandParameter
        (geodatatype:SAT_SENSOR_Band_B3)servicens:SAT_SENSOR_Based_NDVIServiceNearInfraRedInput
        as geodatatype:NearInfraRedSpectralBandParameter
OUTPUTS:
        (geodatatype:NDVI)servicens:SAT_SENSOR_Based_NDVIOutput

RESULT:

```

```

CONDITION:
    dqr:MeetingNDVIRequirements(?servicens:SAT_SENSOR_Based_NDVIServiceRedInput,dqr:True)

==== Serviço 27 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SAT_SENSOR_DataSetService.owl#
SERVICE URI = servicens:SAT_SENSOR_DataSetService
PROFILE:
    Service Name= Map Generator @en
    Text Description=Generate a map from a spatial distribution@en
INPUTS:
OUTPUTS:
    (servicens:SAT_SENSOR_DataSet)servicens:SAT_SENSOR_DataSetOutput

==== Serviço 28 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/Evapotranspiration.owl#
SERVICE URI = servicens:EvapotranspirationService
PROFILE:
    Service Name=Calculates Evapotranspiration Service @en
    Text Description=Calculates Evapotranspiration for a time period @en
INPUTS:
    (geodatatype:TimePeriod)servicens:EvapotranspirationTimePeriodInput
        as geodatatype:TimePeriodParameter
    (geodatatype:Precipitation)servicens:EvapotranspirationPrecipitationInput
        as geodatatype:PrecipitationParameter
    (geodatatype:Temperature)servicens:EvapotranspirationTemperatureInput
        as geodatatype:TemperatureParameter
OUTPUTS:
    (geodatatype:Evapotranspiration)servicens:EvapotranspirationOutput

RESULT:
CONDITION:
    dqr:CoverageSufficiency(?servicens:EvapotranspirationTemperatureInput,dqr:True)

==== Serviço 29 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/Temperature.owl#
SERVICE URI = servicens:TemperatureService
PROFILE:
    Service Name=Temperature Measurements@en
    Text Description=Return Temperature Measurements@en
INPUTS:
OUTPUTS:
    (geodatatype:Temperature)servicens:TemperatureOutput

==== Serviço 30 =====
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/Altimetry.owl#
SERVICE URI = servicens:AltimetryService
PROFILE:
    Service Name=Altimetry Measurements@en
    Text Description=Return Altimetry Measurements@en
INPUTS:
OUTPUTS:
    (geodatatype:Altimetry)servicens:AltimetryOutput

==== Serviço 31 =====

```

```
servicens = http://www.geowsc.twsg.inpe.br/owl-s/1.2/SPMunicipalDataSet.owl#
SERVICE URI = servicens:SPMunicipalDataSetService
PROFILE:
  Service Name=Municipal Division Service @en
  Text Description=Return Municipal Division Descriptions@en
INPUTS:
OUTPUTS:
  (servicens:SPMunicipalDataSet)servicens:SPMunicipalDataSetOutput
```





## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.