

RUBENS MORAES TORRES

**ESPECIFICAÇÃO DAS PERSPECTIVAS ENGENHARIA E TECNOLOGIA
COM BASE NO MODELO DA ASSOCIAÇÃO CARTOGRÁFICA
INTERNACIONAL PARA A IDE-CEMIG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Torres, Rubens Moraes, 1987-

T693e
2016

Especificação das perspectivas engenharia e tecnologia com base no modelo da Associação Cartográfica Internacional para a IDE-Cemig / Rubens Moraes Torres. – Viçosa, MG, 2016. x, 59f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Jugurta Lisboa Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.57-59.

1. Cartografia - Processamento de dados. 2. Engenharia - Especificações. 3. Tecnologia. 4. Ciberespaço . I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Informática. Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação. II. Título.

CDD 22 ed. 526.8

RUBENS MORAES TORRES

**ESPECIFICAÇÃO DAS PERSPECTIVAS ENGENHARIA E
TECNOLOGIA COM BASE NO MODELO DA ASSOCIAÇÃO
CARTOGRÁFICA INTERNACIONAL PARA A IDE-CEMIG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

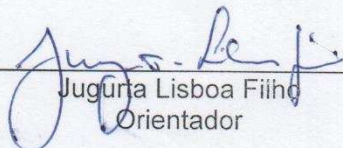
APROVADA: 15 de dezembro de 2016.



Alcione de Paiva Oliveira



Flavio Vieira Pontes



Jurgina Lisboa Filho
Orientador

Dedico esta dissertação à Deus
e aos meus familiares.

AGRADECIMENTOS

Primeiro gostaria de agradecer à Deus. O Senhor foi meu guia durante dez anos de estudos na UFV. Sem sua ajuda nada disso seria possível.

À minha família que sempre me apoiou durante todo esse tempo e que conseguiu segurar “a barra” nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Ao Ítalo Oliveira, que ao longo do mestrado se tornou um grande amigo, agradeço por suas diversas contribuições em minha pesquisa.

Gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Jugurta Lisboa Filho por todo o apoio, disponibilidade e orientação durante dois anos na graduação e mais outros dois anos no mestrado. O professor Jugurta nesse tempo, sempre atuou como um orientador compreensivo e sempre à disposição para uma boa conversa.

A todos os funcionários da DTI, que constituem uma grande família para mim e sempre estão dispostos a ajudar no que for necessário.

Aos meus amigos do mestrado que proporcionaram bons momentos de estudo e diversão. Levarei comigo boas recordações desse aprendizado em conjunto.

A todos os professores do Departamento de Informática da UFV que direta ou indiretamente participaram da minha formação acadêmica.

BIOGRAFIA

RUBENS MORAES TORRES é filho de Rubens de Fátima da Silva Torres e Márcia Nobrega Moraes Torres, nascido em 29 de setembro de 1987, na cidade de Duque de Caxias, no estado do Rio de Janeiro.

No ano de 2004, concluiu o ensino médio na Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal. No ano seguinte concluiu o curso Técnico em Informática na própria instituição. Iniciou no ano de 2006, na Universidade Federal de Viçosa, o curso superior em Matemática, obtendo o título de Licenciatura em Matemática no ano de 2010. No ano seguinte ingressou no curso de Ciência da Computação nessa mesma instituição, tendo obtido o título de Bacharel em Ciência da Computação no final de 2013.

Trabalhou na Escola Estadual Effie Rolfs entre os anos de 2012 e 2014 como professor de matemática. No início de 2015 foi nomeado Técnico em Tecnologia da Informação na Universidade Federal de Viçosa onde se trabalha no momento.

Em março de 2015 ingressou no programa de pós-graduação Stricto Sensu em Ciência da Computação do Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, onde obteve o título de mestre, defendendo sua dissertação no segundo semestre de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
ACRÔNIMOS E ABREVIACÕES.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. O problema e sua importância.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Organização da dissertação.....	4
2 ARTIGOS.....	5
2.1. Artigo I: Especificação da perspectiva Engenharia do modelo formal da ICA em uma Infraestrutura de Dados Espaciais corporativa.....	6
2.2. Artigo II: Especificação da perspectiva Tecnologia do modelo formal da ICA em uma Infraestrutura de Dados Espaciais corporativa.....	23
3 AS PERSPECTIVAS DO RM-ODP PARA A IDE-CEMIG.....	40
3.1. Perspectiva Empresarial.....	40
3.2. Perspectiva Informação.....	42
3.3. Perspectiva Computação.....	45
3.4. Relações entre perspectivas do RM-ODP.....	47
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 2.1.1: Perspectivas do RM-ODP.....	9
Figura 2.1.2: Representação de objetos constituintes da perspectiva Engenharia e sua estrutura hierárquica entre componentes	11
Figura 2.1.3: Troca de informações entre diferentes nodos com uso de canais de comunicação	13
Figura 2.1.4: Uso de replicação de objetos	14
Figura 2.1.5: Organização geral dos objetos Engenharia da IDE-Cemig	16
Figura 2.1.6: Perspectiva Engenharia da IDE-Cemig	18
Figura 2.1.7: Canais de acessos e principais funcionalidades do sistema.....	19

ARTIGO II

Figura 2.2.1: Perspectivas do RM-ODP.....	26
Figura 2.2.2: Representação de objetos tecnológicos	28
Figura 2.2.3: Padrões de implementação geral	29
Figura 2.2.4: Padrões de implementação com respectivas tecnologias.....	30
Figura 2.2.5: Uso de IXIT em componentes	30
Figura 2.2.6: Objetos tecnológicos da perspectiva Tecnologia para a IDE Cemig.....	31
Figura 2.2.7: Padrões de implementação com objetos tecnológicos.....	34
Figura 2.2.8: Diagrama IXIT para IDE-Cemig.....	35
Figura 2.2.9: Visualização simplificada da perspectiva Computação.....	37

CAPÍTULO 3

Figura 3.1: Representação simplificada das comunidades e seus papéis.....	41
Figura 3.2: Diagrama de classes para a perspectiva Informação	44
Figura 3.3: Visão detalhada de componentes da perspectiva Computação.....	46
Figura 3.4: Relações entre as perspectivas Engenharia e Computação.....	48
Figura 3.5: Relações entre as perspectivas Engenharia e Tecnologia.....	51
Figura 3.6: Relações entre as perspectivas Tecnologia e Computação.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Correspondências entre as perspectivas Engenharia e Computação	49
Tabela 2: Correspondências entre as perspectivas Engenharia e Computação	52
Tabela 3: Correspondências entre as perspectivas Tecnologia e Computação	54

ACRÔNIMOS E ABREVIACÕES

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEO	Objeto Básico de Engenharia
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	International Cartographic Association
IDE	Infraestrutura de Dados Espaciais
HTML	HyperText Markup Language
IEC	International Electrotechnical Commission
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
ISO	International Organization for Standardization
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector
IXIT	Implementation Extra Information for Testing
LAN	Rede de Área Local
MTBF	Período Médio Entre Falhas
NV	Engineering Viewpoint
ODP IDL	Implementação da Interface Processamento Distribuído Aberto
PTI	Parque Tecnológico Itaipu
RM-ODP	Reference Model for Open Distributed Processing
SIGEL	Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico
UFV	Universidade Federal de Viçosa
WMS	Web Map Service
WMF	Web Feature Service
REST	Representational State Transfer

RESUMO

TORRES, Rubens Moraes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2016. **Especificação das perspectivas Engenharia e Tecnologia com base no modelo da Associação Cartográfica Internacional para a IDE-Cemig.** Orientador: Jugurta Lisboa Filho.

Observa-se uma crescente demanda pelo emprego de dados espaciais nas empresas em geral. Este crescimento é devido a um avanço no compartilhamento de informações geradas, o que facilita a tomada de decisão em áreas complexas, principalmente em empresas que possuem uma estrutura física dispersa em diversas localidades. Uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) proporciona uma base para a descoberta, avaliação e aplicação de dados espaciais. O uso do Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP) foi proposto pela International Cartographic Association (ICA) como um modelo a ser usado na concepção de IDEs. Inicialmente foram propostas pela ICA, três das cinco perspectivas constituintes do RM-ODP, deixando em aberto a especificação das duas perspectivas restantes. A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) desenvolve uma IDE corporativa denominada IDE-Cemig. Nesse trabalho são propostas modelagens para as perspectivas Engenharia e Tecnologia, utilizando como estudo de caso a IDE-Cemig. O modelo da IDE-Cemig contemplando as três primeiras perspectivas propostas pela ICA foi utilizado como base para este trabalho. O modelo elaborado consiste na especificação de uma IDE corporativa. Esse modelo está estruturado de forma que possibilita a sua adequação e adaptação às necessidades de uma corporação. Outro resultado importante desta pesquisa é o estudo servir como uma referência a ser utilizada por outros pesquisadores para a especificação e implantação de IDEs, assim como contribuir para o fortalecimento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), uma vez que IDEs corporativas começam a ser desenvolvidas com integração à INDE.

ABSTRACT

TORRES, Rubens Moraes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2016. **Specification of the Engineering and Technology viewpoints based on the model of the International Cartographic Association for SDI-Cemig.** Adviser: Jugurta Lisboa Filho.

It is conspicuous the ever increasing demand for the use of spatial data in companies. This demand growth happens due to an advance in the sharing of information generated, which facilitates decision making processes in complex fields, especially in companies with spatially scattered facilities. A Spatial Data Infrastructure (SDI) provides a base for discovery, evaluation, and application of spatial data. The use of the Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP) framework was proposed by the International Cartographic Association (ICA) as a model to be used in the conception of SDI. Initially, three out of the five component perspectives of the RMP-ODP framework were proposed by ICA, leaving open the specification of the remaining ones. The Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) developed a corporative SDI named SDI-Cemig. In this work, models for Engineering and Technology perspectives are proposed using the IDE-Cemig as case study. SDI-Cemig's model dealing with the first three perspectives proposed by ICA was used as base for this work. The produced model consists in a specification of corporative SDI. This model is structured to allow customization and adaptation to the needs of any corporation. Another important result of this research is to be used as reference to other researchers to specify and deploy SDI, as well as contribute to the growth of the Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), since corporative SDI are being developed and integrated to INDE.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Davis et al. (2009), dados geoespaciais são fundamentais para compreensão do espaço e se diferenciam de dados convencionais por possuírem atributos geográficos inseridos em um sistema de coordenadas. Esses dados possuem um grande potencial no auxílio à tomada de decisão e ao planejamento de uma organização. Rajabifard e Williamson (2001) afirmam que algumas metas e objetivos de inúmeras organizações só podem ser alcançados com a disponibilidade e uso de dados geoespaciais de qualidade e consistência.

A obtenção de dados geoespaciais requer tempo, além de demandar recursos financeiros ao longo de sua aquisição. Diante dessa dificuldade de obtenção de dados geoespaciais, viu-se a necessidade de criar mecanismos que possam facilitar o compartilhamento e acesso de dados geoespaciais já elaborados, evitando que sejam criados de forma duplicada e gerando gastos desnecessários (RAJABIFARD; WILLIAMSON, 2001).

Uma solução para o problema de obtenção de dados geoespaciais consiste no uso de uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE). Segundo Harvey et al. (2012), as IDEs melhoram o compartilhamento e utilização de dados e serviços geoespaciais, auxiliando diferentes usuários de uma determinada comunidade. Rajabifard e Williamson (2001) definem IDE como o local onde usuários possam cooperar entre si com o uso de tecnologias alcançando seus objetivos em diferentes níveis políticos e administrativos. Harvey et al. (2012) consideram IDE como uma evolução na maneira de se compartilhar dados geoespaciais e serviços geográficos.

Béjar et al. (2012) mencionam a existência de hierarquias entre as IDEs, sendo descritos diferentes níveis. No topo estão as IDEs globais e regionais com uma grande abrangência territorial e na base estão as IDEs locais e corporativas abrangendo uma menor área geográfica, sendo que a última representa IDEs de empresas corporativas. Observando que dados de IDEs de nível mais baixo podem ser utilizados e compartilhados em uma IDE de nível mais alto e vice-versa (BÉJAR et al., 2012).

Usuários utilizam uma IDE para recuperar e realizar operações sobre dados geoespaciais, promover análises espaciotemporais e utilizar mecanismos de suporte à decisão (JHUMMARWALA et al. 2014). O crescimento na criação e utilização de IDEs é decorrente do aumento do volume de dados geoespaciais disponíveis. Atualmente dados geoespaciais são gerados diariamente por pessoas, utilizando dispositivos (ex. câmeras, tablets, smartphones), sistemas Web, sensores (ex. rastreadores GPS e câmeras) e também por iniciativa de companhias e corporações em mapear dados terrestres (CARPENTER, 2013; WERNER, 2001).

1.1. O problema e sua importância

Hjelmager et al. (2008) afirmam que existem diversas formas de elaboração de IDEs por existirem muitas definições cobrindo um vasto leque de funcionalidades. Esse fato acarreta diferentes formas de desenvolvimento de IDEs, com um potencial de gerar produtos sem qualquer tipo de padronização (COOPER et al. 2011).

Devido à falta de padronização, a Associação Cartográfica Internacional (ICA) desenvolveu um modelo que descreve uma IDE de forma independente de tecnologias e implementações (HJELMAGER et al. 2008). A ICA propôs um modelo para a descrição de IDEs com o uso do Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP).

O RM-ODP consiste em um framework para especificação de sistemas distribuídos, composto por cinco perspectivas. Cada perspectiva representa um ponto de vista de um mesmo sistema com foco em um determinado ponto. Por exemplo, a perspectiva Computação irá trabalhar com questões relacionadas a semântica e tratamento das informações (BÉJAR, 2012).

O modelo proposto pela ICA é composto por três perspectivas do RM-ODP. Foram definidas as perspectivas Empresarial, Informação e Computação (HJELMAGER et al., 2008). Posteriormente, este modelo foi estendido por outros pesquisadores para descrever de maneira mais adequada os atores e políticas de uma IDE (COOPER et al., 2011), (BÉJAR et al., 2012), (COOPER et al., 2013), (OLIVEIRA, 2015), (OLIVEIRA et al., 2016a) e (OLIVEIRA et al. 2016b).

A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) é uma corporação tradicional do setor elétrico brasileiro. Constituída por aproximadamente 200 empresas e atendendo mais de 17 milhões de consumidores, é a responsável pela gestão da maior rede de distribuição de energia elétrica da América do Sul (CEMIG, 2015). Atualmente a Cemig está desenvolvendo uma IDE corporativa, denominada IDE-Cemig, que visa auxiliar o compartilhamento e descoberta de dados geoespaciais pelos seus funcionários e clientes.

A IDE-Cemig é resultado de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) denominado “GeoPortal Cemig - SIG corporativo baseado em IDE”. O projeto é constituído de uma parceria entre a Cemig, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a empresa Centro Internacional de Hidroinformática (CIH), uma empresa do Parque Tecnológico de Itaipu. Além do financiamento da Cemig, o projeto conta com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para sua realização. Um dos objetivos do projeto consiste na elaboração de um método para desenvolvimento de IDEs corporativas, que possa ser utilizado

no desenvolvimento de IDEs para outras empresas, especialmente as que estejam ligadas ao Setor Elétrico.

Segundo Oliveira et al. (2015), é possível o uso do modelo formal da ICA adaptado para descrever IDEs corporativas, sendo deixado em aberto a possibilidade em elaborar as perspectivas Engenharia e Tecnologia. Para a concretização de um projeto utilizando o RM-ODP é necessária uma especificação de todas as cinco perspectivas do framework. Caso não estejam todas perspectivas definidas, uma organização terá que realizar uma pesquisa para o desenvolvimento das perspectivas restantes (PUTMAN, 2000).

O objetivo da perspectiva Engenharia é identificar e especificar interações entre objetos distribuídos, tendo como foco sua comunicação, organização e distribuição. Esta perspectiva engloba a distribuição de componentes e ligações entre eles, além de definir funções comuns no apoio de distribuição de componentes (PUTMAN, 2000).

A perspectiva Tecnologia é responsável por descrever uma arquitetura de implementação. Com base nos modelos desenvolvidos para as outras quatro perspectivas, é descrito um conjunto de componentes a serem utilizados, juntamente com meios tecnológicos para sua comunicação. Os componentes da perspectiva Tecnológica possuem descrição dos componentes de hardware e software a serem utilizados (LININGTON, 2000).

Os modelos são propostos em componentes. Novos elementos podem ser inseridos e os atuais modificados sem alteração significativa no projeto, bastando apenas que sigam um mesmo padrão de comunicação. Sua especificação também pode permitir que a mesma seja utilizada como referência para outros projetistas que busquem utilizar o modelo formal da ICA para especificar e desenvolver outras IDEs, ou que desejem elaborar novos métodos de criação de IDEs baseados no RM-ODP.

1.2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho é adequar o modelo de IDE proposto pela ICA para especificação de uma IDE corporativa. No trabalho será utilizada a empresa Cemig como IDE corporativa, uma empresa de grande porte, sendo que seus dados geográficos estão descentralizados e localizados em diversos setores dificultando seu uso. Especificamente, pretende-se:

- a) Especificar a perspectiva Engenharia do RM-ODP na IDE CEMIG;
- b) Especificar a perspectiva Tecnologia do RM-ODP na IDE CEMIG;

- c) Descrever a relação entre estas duas perspectivas com as outras três perspectivas do RM-ODP, para a IDE-Cemig, possibilitando uma visão completa do uso do modelo proposto pela ICA para a especificação de IDEs.

1.3. Organização da dissertação

Esta dissertação foi elaborada de acordo com um dos formatos recomendados pela Comissão Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFV. A dissertação está organizada como uma coletânea de dois artigos produzidos durante o curso, acrescida de um terceiro capítulo de consolidação do método. A dissertação está estruturada da seguinte forma:

O Capítulo 1 apresenta o problema, sua importância e os objetivos da pesquisa.

O Capítulo 2 é composto por dois artigos resultantes da pesquisa realizada. Os artigos propõem modelagens para a IDE-Cemig. O Artigo I (Seção 2.1) propõe a modelagem da perspectiva Engenharia. O Artigo II (Seção 2.2) apresenta a proposta da perspectiva Tecnologia.

O Capítulo 3 faz um resumo das perspectivas Empresa, Computação e Informação, do modelo da IDE-Cemig, no qual o corrente trabalho é uma continuação. Mostra também a relação entre as cinco perspectivas do RM-ODP.

No Capítulo 4 são apresentadas as conclusões gerais, sendo comentados os resultados obtidos. Ainda nesse capítulo são deixadas algumas oportunidades de pesquisa em aberto que podem proporcionar trabalhos futuros.

Para fins de organização, as referências dos artigos e de outras áreas do trabalho foram reunidas em uma única seção Bibliografia.

2 ARTIGOS

Este capítulo apresenta dois artigos resultantes da pesquisa que deram origem a essa dissertação. Embora os artigos possuam sua versão em inglês e estejam submetidos nesta língua, optou-se por utilizar sua versão em português para auxiliar futuros leitores provenientes de empresas do setor elétrico nacional. O primeiro artigo, intitulado “Especificação da perspectiva Engenharia do modelo formal da ICA em uma Infraestrutura de Dados Espaciais corporativa” apresenta a modelagem na perspectiva Engenharia para a IDE-Cemig. A perspectiva propõe uma organização lógica entre componentes responsáveis por funcionalidades da IDE, assim como descreve meios para que esses componentes possam se comunicar.

No segundo artigo, intitulado “Especificação da perspectiva Tecnologia do modelo formal da ICA em uma Infraestrutura de Dados Espaciais corporativa” é descrita a modelagem na perspectiva Tecnologia para a IDE-Cemig. Essa perspectiva propõe um conjunto de tecnologias a serem utilizadas pela IDE, assim como uma organização física em sua implementação.

2.1. Artigo I: Especificação da perspectiva Engenharia do modelo formal da ICA em uma Infraestrutura de Dados Espaciais corporativa

Rubens Moraes Torres¹, Italo L. Oliveira², Jugurta Lisboa-Filho¹,
Carlos Alberto Moura³, Alexander Gonçalves Silva³

¹Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

²Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal
de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

³Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) – Belo Horizonte – MG - Brazil
rubens.torres@ufv.br, italo.oliveira@ufv.br, jugurta@ufv.br,
camoura@cemig.com.br, ags@cemig.com.br

Artigo submetido a: The Ninth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services (Geoprocessing), Nice, França, 19-23 de março de 2017.

RESUMO

A International Cartographic Association (ICA) propôs um modelo formal para descrever IDEs de forma independente de tecnologias e implementações, com a utilização do framework RM-ODP. O framework é composto de cinco perspectivas. No modelo da ICA foram especificadas as perspectivas Empresarial, Computação e Informação, restando sem especificação a perspectiva Engenharia e Tecnologia. A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) desenvolve uma IDE, denominada IDE-Cemig, com o objetivo de facilitar a descoberta, compartilhamento e utilização de dados geoespaciais entre seus funcionários e consumidores. Este trabalho apresenta a especificação dos componentes da IDE-Cemig utilizando a perspectiva Engenharia baseada no modelo formal da ICA.

Palavras-chave: IDE; RM-ODP; Perspectiva Engenharia.

Specifying the Engineering Viewpoint for a Corporate Spatial Data Infrastructure using ICA's Formal Model

ABSTRACT

The International Cartographic Association (ICA) proposed a formal model to describe SDIs regardless of technologies or implementations using the RM-ODP framework. The framework consists of five viewpoints. ICA's model specified the Enterprise, Computational, and Information viewpoints, but not the Engineering and Technology viewpoints. The Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) has developed an SDI, called SDI-Cemig, aiming to facilitate the discovery, sharing, and use of geospatial data among employees and consumers. This paper presents a specification of the SDI-Cemig components using the Engineering viewpoint based on ICA's formal model.

Keywords: SDI; RM-ODP; Engineering Viewpoint.

1 INTRODUÇÃO

Usuários utilizam uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) com a finalidade de recuperar e realizar operações sobre dados geoespaciais, a fim de promoverem análises espaçotemporais e também utilizar mecanismos de suporte à decisão presentes nestes sistemas (JHUMMARWALA et al. 2014). O crescimento na criação e utilização de IDEs é decorrente do aumento do volume de dados geoespaciais disponíveis. Atualmente, dados geoespaciais são gerados diariamente por pessoas, utilizando dispositivos (ex. câmeras, tablets, smartphones), sistemas Web, utilizando sensores (ex. rastreadores GPS e câmeras) e também por iniciativa de companhias e corporações em mapear dados sobre a superfície terrestre (CARPENTER, 2013; WERNER, 2001). Segundo Harvey et al. (2012), as IDEs melhoram o compartilhamento e utilização de dados e serviços geoespaciais, auxiliando diferentes usuários de uma determinada comunidade.

A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), uma corporação com mais de 200 empresas, está desenvolvendo a IDE-Cemig, visando auxiliar o compartilhamento e descoberta de dados geoespaciais pelos seus funcionários e clientes. O projeto de pesquisa & desenvolvimento denominado “GeoPortal Cemig – SIG corporativo baseado em IDE” é financiado por meio da parceria entre a Cemig e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig). Um dos objetivos do projeto consiste na elaboração de um método para desenvolvimento de IDEs corporativas.

A International Cartographic Association (ICA) propôs um modelo para a descrição de IDEs especificando três das cinco perspectivas do Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP), as perspectivas Empresarial, Informação e Computação (HJELMAGER et al. 2008). As demais perspectivas do RM-ODP, Engenharia e Tecnologia, não foram descritas no modelo da ICA por serem muito dependente da implementação.

Posteriormente, este modelo foi estendido por outros pesquisadores para descrever de maneira mais adequada os atores e políticas da IDE, sendo encontrados em (COOPER et al. 2011), (BÉJAR et al. 2012), (COOPER et al. 2013), (OLIVEIRA, 2015), (OLIVEIRA et al. 2016a) e (OLIVEIRA et al. 2016b). Segundo Oliveira (2015), é possível o uso do modelo formal da ICA adaptado para descrever IDEs corporativas, sendo deixado em aberto a possibilidade da elaboração das perspectivas Engenharia e Tecnologia.

Este trabalho apresenta a especificação da perspectiva Engenharia para a IDE-Cemig, utilizando como base o modelo formal para IDE da ICA adaptado. O artigo está estruturado como segue. A Seção 2 descreve o modelo formal para IDE da ICA. A Seção 3 apresenta a

especificação da perspectiva Engenharia para a IDE-Cemig. A Seção 4 discute os resultados apresentados neste estudo e na Seção 5 são feitas algumas considerações finais e possibilidades de trabalhos futuros.

2 MODELO FORMAL DA ICA PARA ESPECIFICAÇÃO DE IDE

O RM-ODP é o framework resultante de uma parceria entre a International Organization for Standardization (ISO), a International Electrotechnical Commission (IEC) e a Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) (RAYMOND, 1995). Ele consiste em um framework para especificação de sistemas distribuídos heterogêneos, proporcionando distribuição, interoperabilidade, portabilidade, independência de plataforma e tecnologia (FAROOQUI; LOGRIPPO, 1995).

A ICA, em (HJELMAGER et al., 2008), propôs utilizar o RM-ODP como modelo de referência para construções e elaborações de uma IDE. Com a sua utilização é possível modelar os atores, políticas (HJELMAGER et al., 2008), semântica dos dados (COOPER et al., 2011), objetos e funcionalidades (COOPER et al., 2013) necessários em uma IDE. Uma vantagem do uso do modelo é possuir grande independência de tecnologia e implementação (HJELMAGER et al., 2008). Por exemplo, duas empresas podem utilizar uma mesma modelagem para implementar suas respectivas IDE, sendo que uma empresa pode utilizar um conjunto de tecnologias, enquanto outra empresa pode utilizar um outro conjunto de tecnologias, sem a necessidade de modificar a modelagem.

O RM-ODP é constituído por cinco perspectivas, também chamadas visões, nas quais cada uma representa um ponto de vista arquitetural do sistema (EGYHAZY, 2004). As perspectivas não demonstram partes isoladas de um sistema, eles descrevem uma perspectiva diferente do mesmo sistema. Com a utilização de perspectivas, o modelo é especificado em cinco modelos menores, cada perspectiva respondendo a questões relevantes específicas (LININGTON et al., 2011; Raymond, 1995). A Figura 2.2.1 ilustra um diagrama representando a interação entre as cinco perspectivas.

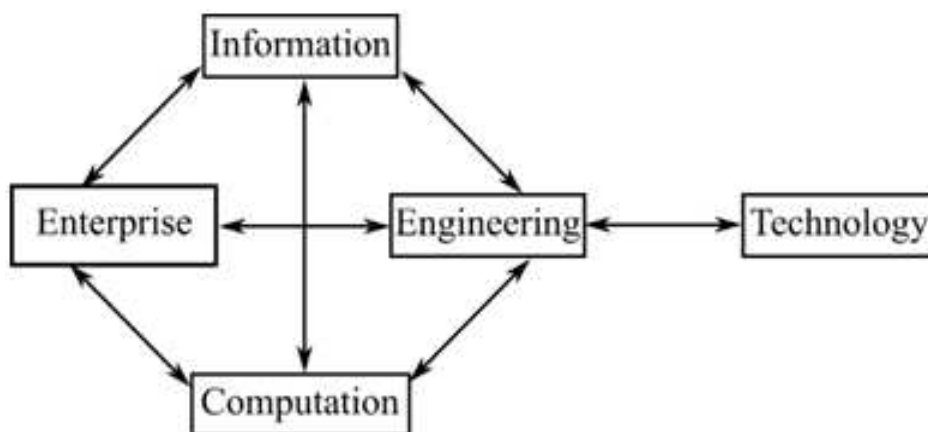


Figura 2.1.1: Perspectivas do RM-ODP
Fonte: (HJELMAGER, 2008)

Segundo Linington et al. (2011), a perspectiva Empresarial define escopo, requisitos e políticas para o sistema. A perspectiva Informação trabalha com semântica da informação e seu processamento, sendo descritos as estruturas e tipos de dados utilizados. A perspectiva Computacional define uma distribuição por meio de uma decomposição funcional do sistema em objetos que interagem por meio de interfaces. Nela há uma descrição das funcionalidades fornecidas pelo sistema e objetos são construídos baseando-se em suas funcionalidades. A perspectiva Engenharia é elaborada com base nos mecanismos e funções necessárias suportando interações distribuídas entre os objetos constituintes do sistema. Nela há uma descrição de distribuição do processamento e comunicação entre seus diversos objetos. A perspectiva Tecnologia é relacionada sobre as necessidades do sistema com relação à tecnologia, sendo descritas as tecnologias necessárias para o fornecimento de processamento, funcionalidades e visualização de informações.

Neste trabalho, somente a perspectiva Engenharia da IDE-Cemig é abordada. As definições detalhadas das perspectivas Empresarial, Informação e Computação podem ser encontradas em (OLIVEIRA et al. 2016a) e (OLIVEIRA et al. 2016b). A perspectiva Tecnologia foge da abrangência deste trabalho, devendo ser especificada em trabalhos futuros.

2.1. Perspectiva Engenharia

O objetivo da perspectiva Engenharia é identificar e especificar interações entre objetos distribuídos, tendo como foco sua comunicação, organização e distribuição. Ela engloba a distribuição de componentes e ligações entre eles, além de definir funções comuns no apoio de distribuição de componentes (PUTMAN, 2000).

Uma vantagem na utilização do RM-ODP é permitir a elaboração de um modelo neutro e independente não atrelado a tecnologias específicas. Com isso, há uma liberdade de escolha de tecnologias disponíveis e preferenciais em uma organização que deseje implementar um determinado projeto. Aliado com a ideia de um modelo neutro há uma maior facilidade de alteração de uma tecnologia, caso uma organização decida sua mudança por motivos internos e particulares (ISO/IEC 10746-3, 2010).

A seguir são descritos alguns componentes integrantes da perspectiva Engenharia segundo Linington et al. (2011) e utilizados na modelagem da IDE-Cemig, na seção 3.

Objeto Básico de Engenharia (BEO) corresponde a menor representação na especificação da modelagem. É um tipo especial de objeto na perspectiva Engenharia que representa um objeto computacional definido na perspectiva Computação, podendo representar também um agente do sistema. BEOs representam abstrações de elementos constituintes do sistema.

A Figura 2.1.2 ilustra a organização de objetos da perspectiva Engenharia. Na Figura 2.1.2 é possível perceber uma hierarquia entre objetos da perspectiva. Por exemplo, um nodo representa um conjunto de cápsulas, uma cápsula é constituída por vários clusters, e um cluster é constituído por diversos BEOs.

Um cluster consiste em uma coleção de BEOs agrupados com funções semelhantes e possuindo ciclos de vida no sistema (Putman, 2000). Cápsula representa uma unidade independente de processamento e armazenamento, capaz de suportar uma coleção de objetos. Elas possuem isolamento entre si, garantindo que problemas em uma cápsula não interfiram em outra diretamente. O elemento nodo representa um objeto físico ou virtual que possui capacidades de processamento, comunicação e armazenamento. Pode representar um computador, a união de diversos dispositivos que juntos determinam uma unidade, máquina virtual de um computador, observando que o elemento deve possuir as capacidades mencionadas acima. Também possuem um alto grau de isolamento (LININGTON et al., 2011).

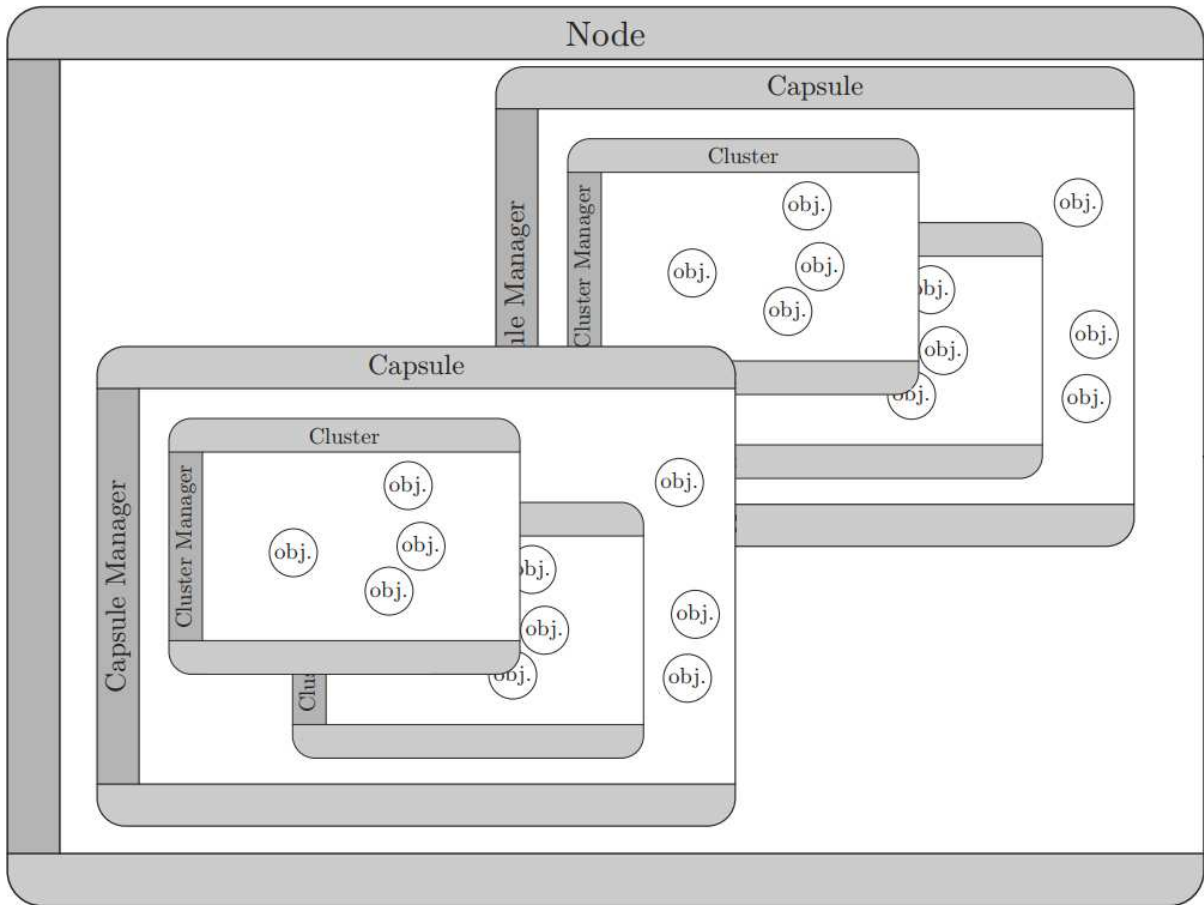


Figura 2.1.2: Representação de objetos constituintes da perspectiva Engenharia e sua estrutura hierárquica entre componentes
Fonte: (LININGTON et al., 2011)

A estrutura de componentes na perspectiva Engenharia é dividida em componentes com isolamento a partir do elemento cápsula. Portanto, é necessário utilizar mecanismos na comunicação entre elementos que estejam em estruturas distantes. Para isso, é utilizada uma estrutura de canais de comunicação (BECERRA et al., 2003).

Canais de comunicação representam uma infraestrutura transparente de comunicação permitindo que objetos da perspectiva Engenharia interajam, sendo comumente utilizado na comunicação entre BEOs de diferentes nodos. Um canal muitas vezes não é necessário ser especificado em detalhes, pois são implementados em um nível mais baixo, sendo o objetivo do canal representar uma comunicação entre elementos (PUTMAN, 2000).

A Figura 2.1.3 representa o uso de canais para comunicação entre objetos. A Figura 2.1.3 representa um middleware de uma empresa do setor elétrico (BECERRA et al., 2003). Observa-se a existência de dois canais de comunicação que realizam a comunicação entre os nodos Centros de Operações do Sistema Paulista (COS-SP) e Tecnologia da Informação (IT). Os canais realizam a troca de informações entre os objetos homônimos localizados em diferentes nodos: *Alarm Access Service* e *History Access Service*.

Uma maneira de melhorar o desempenho do processamento de informação é a utilização de replicação de objetos de forma transparente (LININGTON, 2011). A Figura 2.1.4 ilustra uma modelagem com replicação de objetos. No modelo foram criados nodos auxiliares *Stock DataMgr0* e *Stock DataMgr1* baseados no objeto *Stock DataMgr*. Também houve a criação de um canal auxiliar *Stock Data Channel* para comunicação de dados e balanceamento.

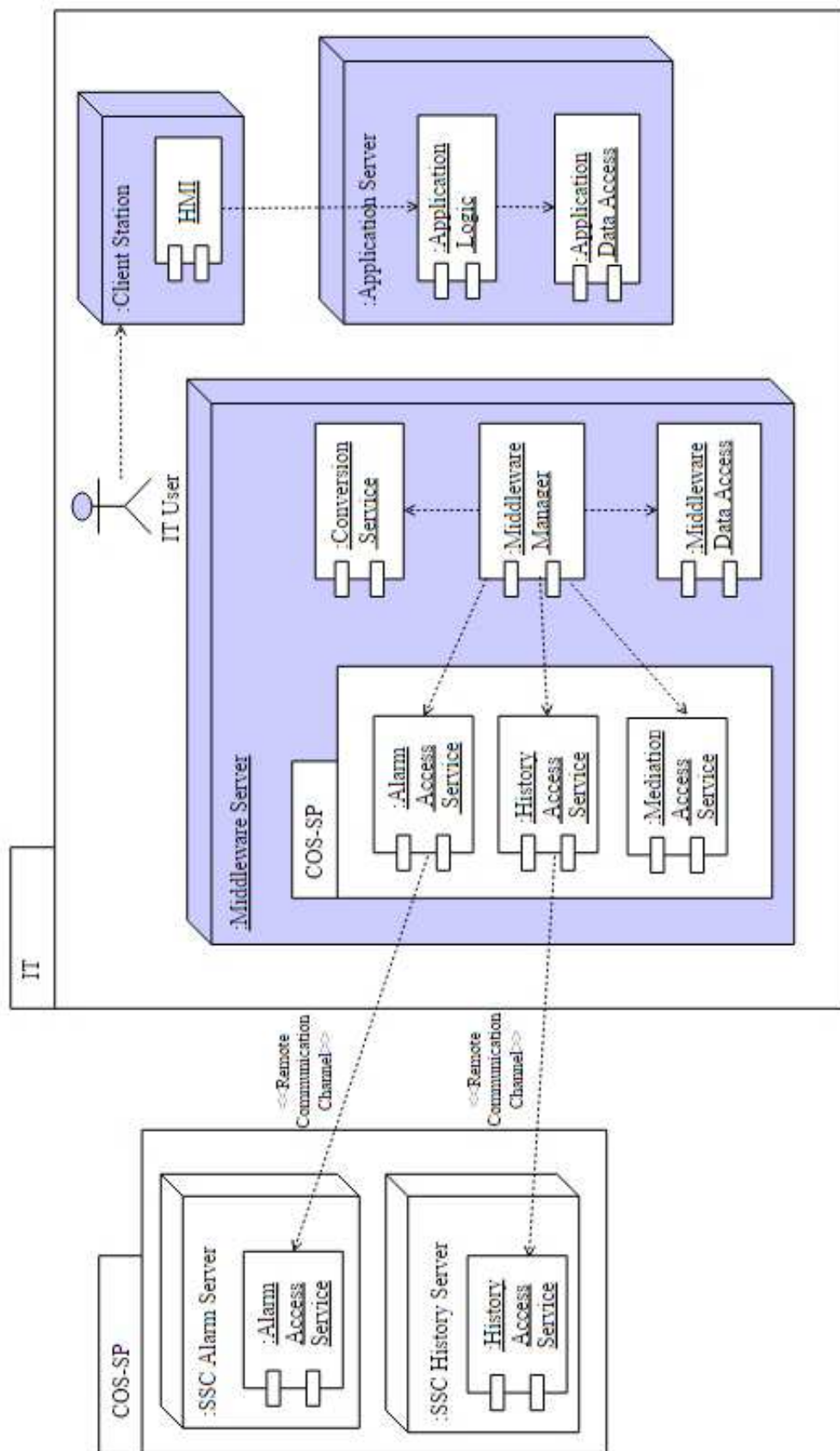


Figura 2.1.3: Troca de informações entre diferentes nodos com uso de canais de comunicação
Fonte: Adaptado de (BECERRA et al.,2003)

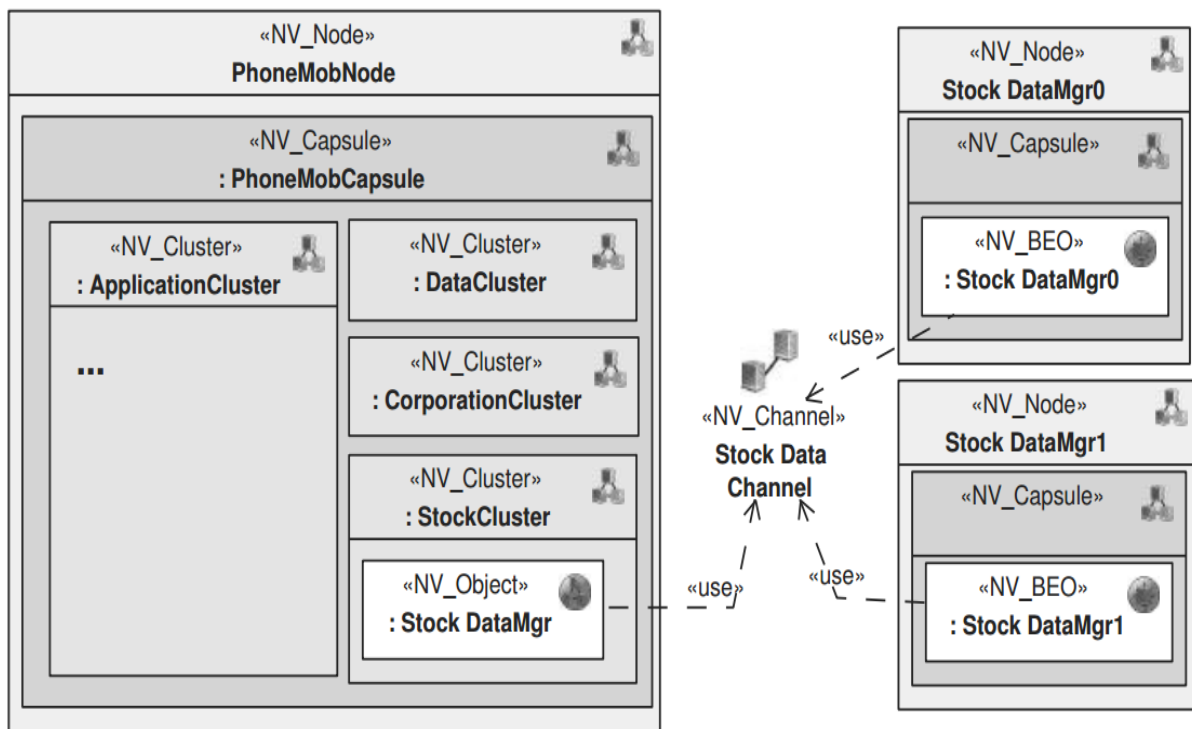


Figura 2.1.4: Uso de replicação de objetos
Fonte: Adaptado de (LININGTON et al., 2011)

3 ESPECIFICAÇÃO DA PERSPECTIVA ENGENHARIA DA IDE-CEMIG

Como descrito na seção 1, a Cemig busca desenvolver uma IDE, denominada IDE-Cemig, para auxiliar na descoberta, compartilhamento e utilização de dados e serviços geoespaciais por seus funcionários e clientes. Esta subseção descreve a perspectiva Engenharia da IDE-Cemig. A perspectiva Tecnologia foge do escopo deste trabalho, portanto, não será detalhada, enquanto que as perspectivas Empresarial, Informação e Computação da IDE-Cemig são descritas em (OLIVEIRA et al., 2016a) e (OLIVEIRA et al., 2016b).

Para a modelagem da IDE-Cemig, foi utilizado o modelo formal para IDE da ICA adaptado. Para a elaboração e nomenclatura dos elementos foi utilizado como referência os exemplos dados por Linington et al. (2011) no detalhamento da perspectiva Engenharia. Nomes começam com um símbolo maiúsculo, sendo que as próximas palavras nunca são separadas com espaço e também se iniciam com um símbolo maiúsculo. Como alguns componentes teriam nomes parecidos ou mesmo iguais, é adotado o uso de prefixo e sufixo para diferenciar funcionalidades.

A organização geral da especificação da perspectiva Engenharia para a IDE-Cemig é mostrada na Figura 2.1.5. A Figura 2.1.5 representa os elementos da perspectiva agrupados de acordo com funcionalidades de seus objetos. A organização geral representa uma visão global dos componentes da perspectiva Engenharia, sendo organizada em duas divisões: *ObjectsDistribution* e *NV_Objects (Engineering Viewpoint Objects)*.

A divisão *NV_Objects* agrupa objetos que representam elementos básicos, representados por BEOs, sendo estes agrupados em pacotes que possuem semelhança em suas funções. Os objetos foram agrupados em quatro pacotes: *HumanBEOs*, *ApplicationBEOs*, *PresentationBEOs* e *DataBEOs*.

O pacote *HumanBEOs* inclui os papéis que participam da aplicação, sendo definidos como: *User*, *Supplier*, *OperationalBody* e *Cataloguer*. No pacote *PresentationBEOs*, os BEOs representam as interfaces para os atores incluídos no pacote *HumanBEOs*. Para sua nomenclatura é adicionado o prefixo GUI2 (Graphical user interface to) adicionado do nome correspondente do pacote *HumanBEOs*. Portanto, os componentes do pacote *ApresentaçãoBEOs* foram descritos como: *GUI2User*; *GUI2 Supplier*; *GUI2 OperationalBody* e *GUI2 Cataloguer*.

O pacote *ApplicationBEOs* representa as funcionalidades que atores da IDE-Cemig podem utilizar em seu funcionamento e em sua administração. Eles representam três funções encontradas por Oliveira et al. (2016b) que são necessárias para o funcionamento da IDE-Cemig. Em sua nomenclatura é adicionado o sufixo Ops (Operations) em cada um de seus componentes. Os componentes elaborados foram: *PortraitSDICemigOps*; *DataSDICemigOps* e *CataloguerSDICemigOps*.

Por último, o pacote *DataBEOs* possui BEOs relacionados com informações da base dados. O pacote possui componentes com responsabilidade no armazenamento e gestão de dados. Em sua nomenclatura foi adotado o sufixo DataMgr (Data manager). Nota-se que alguns elementos possuem após o sufixo DataMgr o número zero. Este número representa que o componente é uma replicação do componente de nome análogo e tem como objetivo alcançar maior desempenho no uso da aplicação. Os seguintes objetos do pacote *DadosBEOs* foram duplicados: *ManagementMetadataDataMgr*, *ManagementVectorialDataMgr* e *ManagementMatricialDataMgr*. Observa-se que o componente *ManagementCatalogDataMgr* não foi replicado por se tratar de um componente com funcionalidade de catálogo e não trabalhar com grandes volumes de informações.

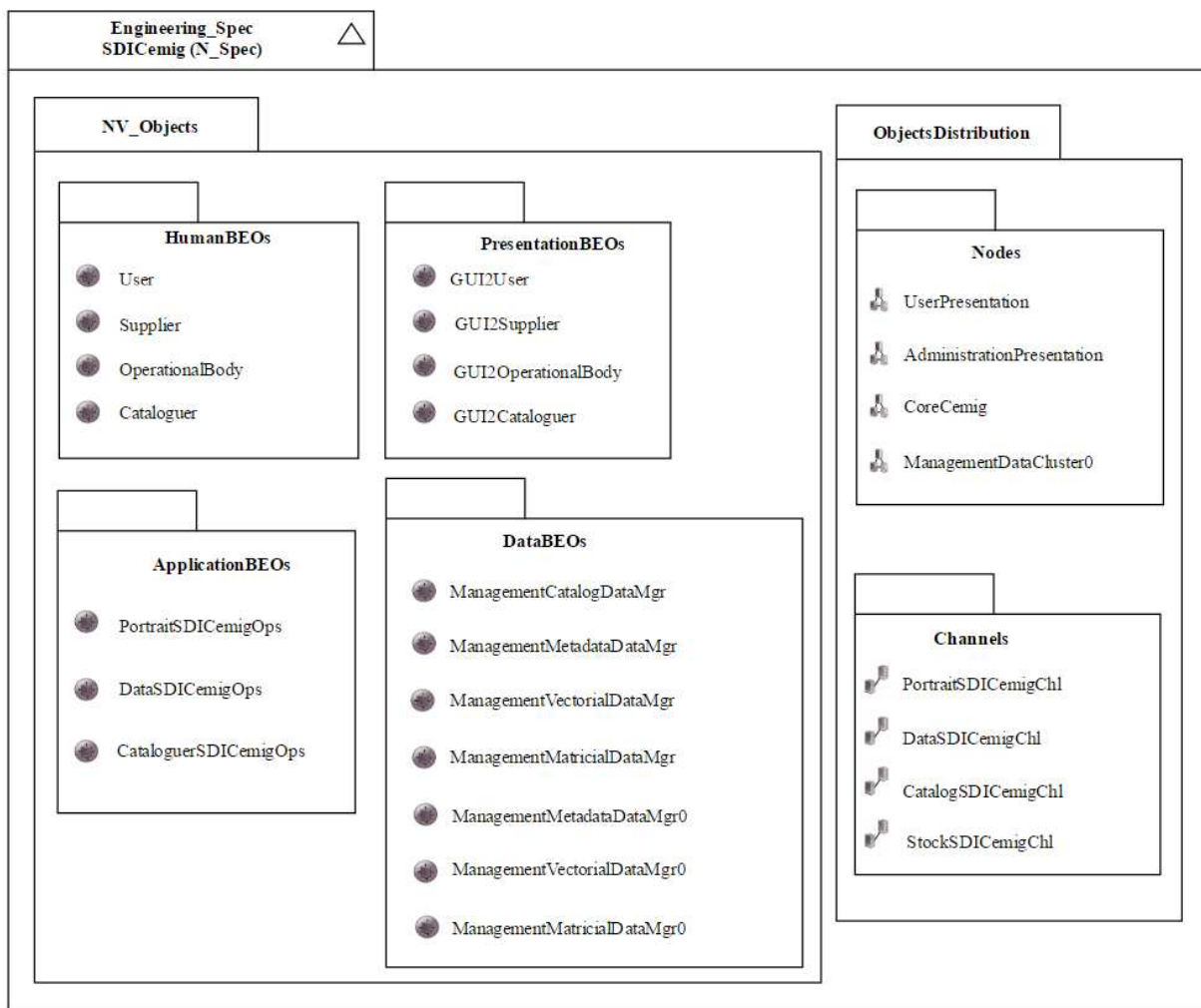


Figura 2.1.5: Organização geral dos objetos Engenharia da IDE-Cemig
Fonte: O autor (2016)

Já a segunda divisão, *ObjectsDistribution*, possui componentes que representam a distribuição lógica e comunicação. Ela é composta por dois pacotes: *Nodes* e *Channels*. O pacote *Nodes* representa um conjunto de elementos nodos definidos para o sistema, cuja definição pode ser encontrada na subseção 2.1. Para a IDE-Cemig, foram definidos quatro nodos: *UserPresentation*; *AdministrationPresentation*; *CoreCemig* e *ManagementDataCluster0*. No pacote *Channels* foi utilizado o sufixo Chl (Channel) em sua nomenclatura. O pacote tem por finalidade realizar a comunicação dos componentes, já que os nodos possuem isolamento e necessitam de um meio para se comunicarem. Foram definidos os seguintes canais: *PortraitSDICemigChl*, *DataSDICemigChl*, *CatalogSDICemigChl* e *StockSDICemigChl*.

3.1. Distribuição de Objetos Engenharia da IDE-Cemig

Segundo ISO/IEC 10746-3 (2010), a perspectiva Engenharia especifica uma infraestrutura de comunicação que deve suportar a distribuição de objetos da perspectiva Computação, sem a preocupação na escolha de tecnologias para implementá-la.

A Figura 2.1.6 apresenta uma versão da distribuição dos componentes da perspectiva Engenharia na IDE-Cemig, agrupados de acordo com suas interações com outros objetos computacionais e pacotes que os agrupam. Segundo Linington et al. (2011), objetos Engenharia representam de forma abstrata a distribuição e organização do sistema, permitindo uma modelagem independente de tecnologia.

A administração dos objetos Engenharia da IDE-Cemig foram agrupados em cinco grupos: *Human_BEOs*, representando atores especificados anteriormente na perspectiva Empresarial (OLIVEIRA, 2015); *UserPresentation* - representa as interfaces utilizadas pelos ator *User*; *AdministrationPresentation* - representa as interfaces entre os atores que administram o sistema; *ManagementDataCluster* - representa funcionalidades de desempenho com uso de replicação de dados; e *CoreCemig* - representa o núcleo de processamento do sistema. O *CoreCemig* é subdividido em *ApplicationCluster* - responsável pelas funcionalidades do sistema, *ManagementCatalogCluster* - responsável por um catálogo de informações disponíveis na aplicação e *ManagementDataCluster* - responsável pelo armazenamento de dados do sistema.

Os objetos Engenharia do grupo *Human_BEOs* representam objetos definidos na perspectiva Empresarial, possuindo cada um, sua própria interface de acesso. Cada cliente do sistema possui uma camada própria de apresentação com nome análogo como, por exemplo, para o objeto *Supplier* da IDE-Cemig há um objeto na apresentação com o nome *GUI2Supplier*.

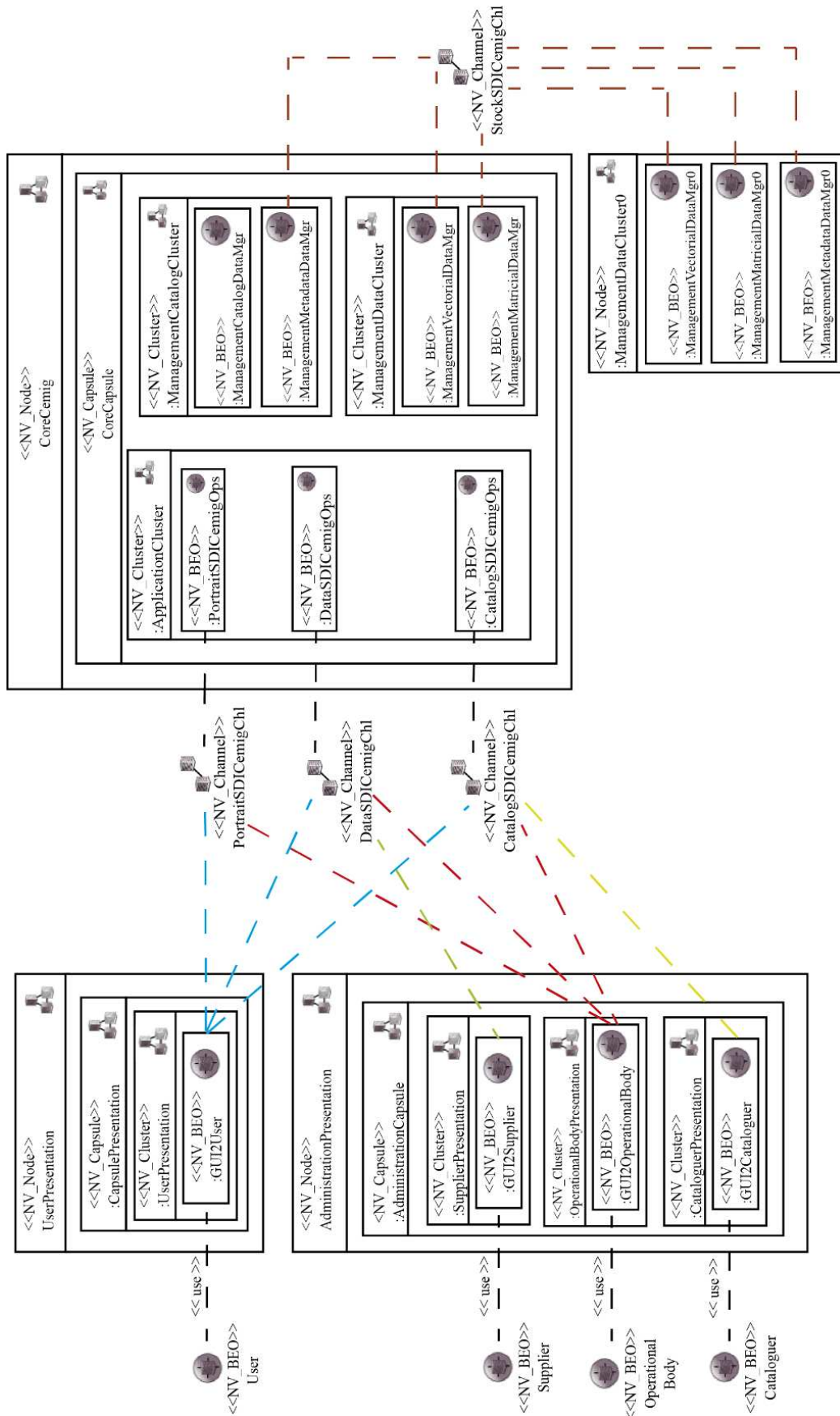


Figura 2.1.6: Perspectiva Engenharia da IDE-Cemig
Fonte: O autor (2016)

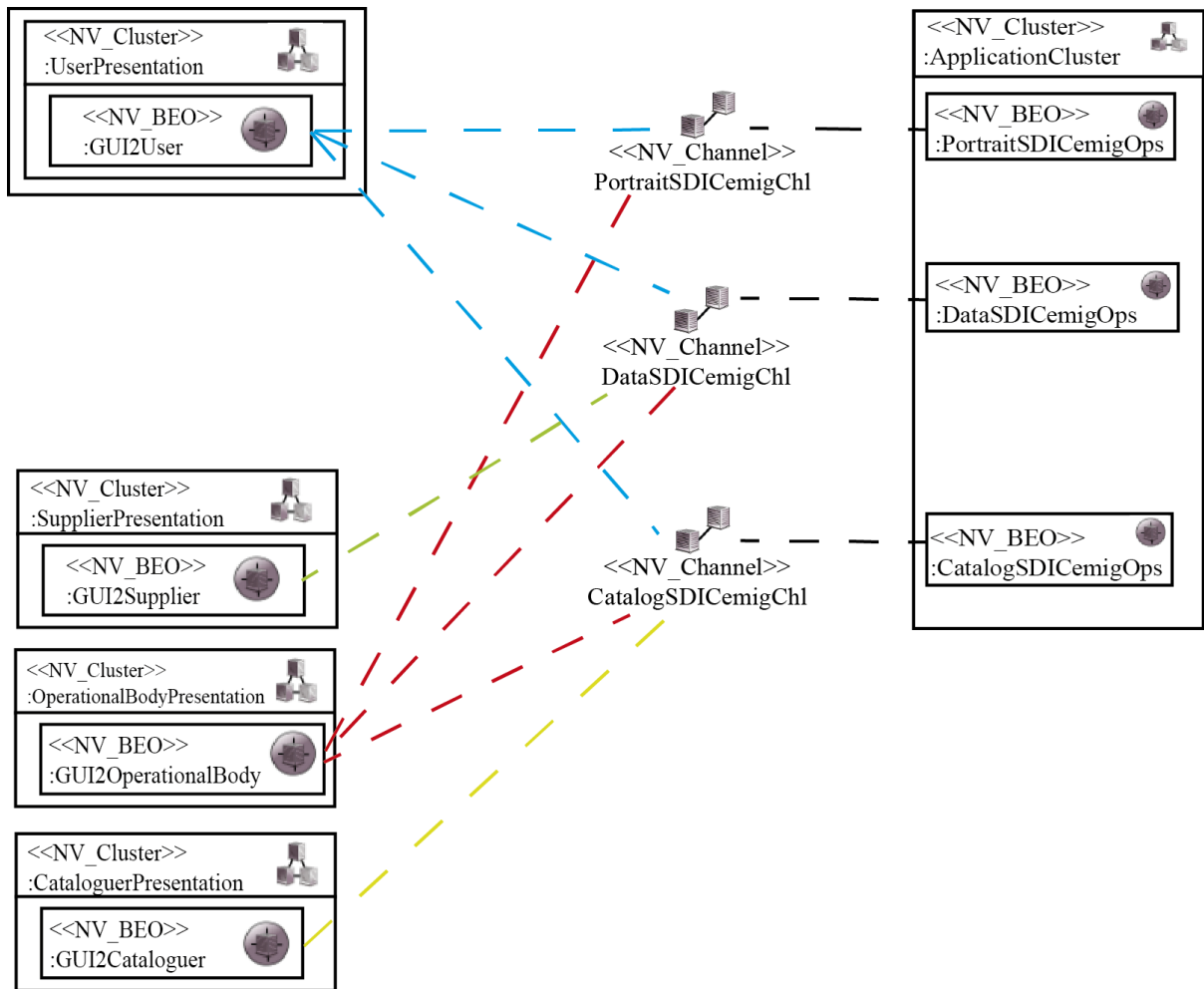


Figura 2.1.7: Canais de acessos e principais funcionalidades do sistema
Fonte: O autor (2016)

A comunicação entre os objetos dos clusters *AdministrationPresentation*, *UserPresentation* e *ApplicationCluster*, este representando as funcionalidades do sistema, é realizada por meio de canais, por estarem em nodos diferentes. Conforme ilustra a Figura 2.1.7, há 3 canais de comunicação entre os clusters de apresentação e o cluster de funcionalidades: *PortraitSDICemigChl*; *DataSDICemigChl*; e *CatalogSDICemigChl*.

Os canais são responsáveis pela comunicação entre as camadas de apresentação e funcionalidades contidas no cluster de aplicação. A ligação de cada componente a um determinado objeto e suas interfaces necessárias, se baseia na perspectiva Computação elaborada por Oliveira et al. (2016b).

A seguir são mostradas as correspondências entre elementos e canais elaborados para a perspectiva Engenharia com relação ao seus elementos e interfaces correspondentes da perspectiva Computação da IDE Cemig. Essa validação é necessária para verificar se a nova perspectiva proposta, se adequa e é compatível com modelo de (OLIVEIRA et al., 2016b).

O canal *PortraitSDICemigChl* é responsável por fazer a comunicação com destino para o *PortraitSDICemigOps*. Ele atende requisições oriundas da *GUI2User* e *GUI2OperationalBody* para visualização de mapas e engloba as interfaces: *GetMap_WMS*; *GetFeatureinfo_WMS*; e *GetCapabilities_WMS*. O canal *DataSDICemigChl* realiza comunicação para o *DataSDICemigChl*, atendendo as interfaces *GUI2User*, *GUI2OperationalBody* e *GUI2Supplier*. Possui responsabilidade na transmissão de informações geográficas. Interfaces incluídas: *GetPropertyValue_WFS*; *DescribeCoverage_WCS*; *GetCoverage_WCS*; *GetFeature_WFS-G*; *DescribeFeatureType_WFS*; *DescribeFeatureType_WFS-G*; *GetCapabilities_**; e *Transaction_**. O Canal *CatalogSDICemigChl* atende requisições de *GUI2User*, *GUI2OperationalBody*, *GUI2Supplier* e *GUI2Cataloguer*. O canal atende requisições relacionadas ao catalogo da IDE. Atende as interfaces *GetRecords_CS*, *GetRecordbyID_CS*, *GetCapabilities_CS*, *GetRecords_CS*, *Transaction_CS*; e *Harvest_CS*.

O elemento *ApplicationCluster* é responsável pelas Funcionalidades Computacionais: *Data_SDI-Cemig*, *Portrait_SDI-Cemig* e *Catalogue_SDI-Cemig*. *ManagementCatalogCluster* juntamente com *ManagementCatalogCluster0* atende aos objetos computacionais *Data_Vectors_Management*, *Data_Rasters_Management*, *Metadata_Management* e *Catalogue_Management*. *CapsulePresentation* possui correspondência ao elemento computacional *Geoportal_User*. *AdministrationCapsule* atende aos elementos *Geoportal_Provider*, *Geoportal_Operational_Body* e *GeoPortal_Cataloguer* da perspectiva Computação. Com relação aos usuários entre as perspectivas, eles possuem correspondências entre nomes e funcionalidades: *User*, *Provider*, *Operational Supplier* e *Cataloguer*.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo da ICA reuni um conjunto de conceitos básicos que uma IDE requer para seu funcionamento. A construção da perspectiva Engenharia para a IDE-Cemig é uma continuidade e extensão dos trabalhos de (OLIVEIRA et al., 2016a) e (OLIVEIRA et al., 2016b), relacionados à especificação das perspectivas Empresarial, Informação e Computação para uma IDE corporativa. Assim como os trabalhos citados, a perspectiva Engenharia descrita neste trabalho atende os requisitos básicos (e.g., permitir a descoberta, recuperação e compartilhamento de dados geoespaciais) exigidos por uma IDE.

Segundo Oliveira (2015), o modelo de IDEs proposto para a empresa Cemig é aplicável na construção de IDEs corporativas. A perspectiva proposta nesse trabalho configura uma

continuação desse modelo, mantendo a proposta de uso generalizado. O modelo é proposto para implementações de novas IDEs corporativas que se adequem com a restrição acima citada. Caso haja necessidade de incluir serviços de geoprocessamento, o modelo possui uma construção com a possibilidade de expansão de funcionalidades, por meio da criação de novos componentes.

A construção de um modelo com independência de tecnologia oferece como vantagem a liberdade para uma organização na escolha da tecnologia a ser utilizada. A organização poderá escolher uma tecnologia que possua maior familiaridade, de menor custo, melhor adaptação, ou mesmo uma tecnologia de sua preferência. Caso posteriormente se queira mudar de tecnologia, o projeto pode ser reconstruído sem grande impacto, bastando que a tecnologia escolhida contemple as necessidades do sistema.

A perspectiva Engenharia é composta de nodos isolados estruturalmente, ou seja, eles trabalham de forma independente. Portanto, uma falha em um componente não ocasiona diretamente falhas em outro componente. No caso de reestruturação de um componente, os componentes restantes não necessitam de adaptação, pois a comunicação é realizada por meio de canais e basta que a nova estrutura utilize a mesma estrutura de comunicação dos canais existentes. Com relação aos componentes, o sistema pode receber novas funcionalidades com a criação de novos objetos e canais de comunicação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a especificação da quarta perspectiva do modelo da ICA, a IDE-Cemig agora possui elaborada as seguintes perspectivas: Empresarial, Informação, Computação e Engenharia. Sendo o RM-ODP composto por cinco perspectivas, resta apenas a elaboração da perspectiva Tecnologia, a qual, assim como a perspectiva Engenharia, não é abordada pelo modelo formal para IDEs da ICA. Ela deve contemplar os requisitos das perspectivas já elaboradas e a disponibilidade tecnológica da empresa.

A especificação da perspectiva Engenharia para a IDE-Cemig sugere uma especificação a ser utilizada em outras IDEs corporativas, principalmente em empresas relacionadas ao setor elétrico. Caso haja necessidade de alterações, a construção do modelo em módulos possibilita uma adaptação necessária a inclusão de novas funcionalidades. A especificação da IDE-Cemig utilizando o modelo formal para IDEs da ICA adaptado pode auxiliar pesquisadores e projetistas que desejem modelar IDEs baseadas no modelo da ICA, mesmo que abranjam um nível diferente do corporativo.

Como trabalhos futuros, pretende-se especificar a perspectiva Tecnologia da IDE-Cemig, verificando sua adequação com as perspectivas já elaboradas. Com sua especificação o modelo contemplará as cinco perspectivas do RM-ODP.

AGRADECIMENTOS

Esse projeto de pesquisa foi parcialmente financiado Fapemig e CAPES, juntamente com a Empresa Cemig.

2.2. Artigo II: Especificação da perspectiva Tecnologia do modelo formal da ICA em uma Infraestrutura de Dados Espaciais corporativa

1. Rubens Moraes Torres¹, Italo L. Oliveira², Jugurta Lisboa-Filho¹,
Carlos Alberto Moura³, Alexander Gonçalves Silva³

¹Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

²Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal
de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

³Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) – Belo Horizonte – MG - Brazil
rubens.torres@ufv.br, italo.oliveira@ufv.br, jugurta@ufv.br,
camoura@cemig.com.br, ags@cemig.com.br

Artigo submetido a: 19th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS),
Porto, Portugal, 26 – 29 de abril de 2017.

RESUMO

Na busca para elaborar um modelo formal para desenvolvimento de Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE), a International Cartographic Association (ICA) propôs um modelo baseado no framework RM-ODP para descrição de IDEs de maneira independente de implementação e tecnologia. O framework RM-ODP é composto por cinco perspectivas, sendo que a ICA propôs a especificação das perspectivas Empresarial, Computação e Informação, estando em aberto as especificações da perspectiva Engenharia e Tecnologia. A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) desenvolve uma IDE, denominada IDE-CEMIG, com o objetivo de facilitar a descoberta, compartilhamento e utilização de dados geoespaciais entre seus funcionários, empresas parceiras e consumidores. Este trabalho apresenta a especificação das tecnologias que compõem os componentes da IDE-Cemig utilizando a perspectiva Tecnologia integrada ao modelo formal da ICA.

Palavras-chave: IDE, RM-ODP, Perspectiva Tecnologia, Modelo ICA.

Specifying the Technology viewpoint for a corporate Spatial Data Infrastructure using ICA's formal model

ABSTRACT

In the quest to create a formal model for the development of Spatial Data Infrastructure (SDI), the International Cartographic Association (ICA) has proposed a model based on the RM-ODP framework to describe SDIs regardless of the implementation and technology. The RM-ODP framework comprises five viewpoints. The ICA has proposed the specification of the Enterprise, Computation, and Information viewpoints while the Engineering and Technology viewpoints are yet to be specified. The Companhia Energética de Minas Gerais (Minas Gerais Power Company - Cemig) develops an SDI, called SDI-Cemig, aiming to facilitate the discovery, sharing, and use of geospatial data among its employees, partner companies, and consumers. This study presents the specification of the technologies that comprise the components of SDI-Cemig using the Technology viewpoint integrated to ICA's formal model.

Keywords: Spatial Data Infrastructure, RM-ODP, Perspectiva Tecnologia, ICA Model.

1 INTRODUÇÃO

Usuários utilizam uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) com a finalidade de recuperar e realizar operações com dados geoespaciais (e.g., converter sistemas de coordenadas geográficas), podendo ser realizadas análises espaciotemporais, além do uso de mecanismos no suporte à decisão (JHUMMARWALA et al., 2014).

Com base no conceito de IDE, diversas iniciativas de âmbito público e privado têm sido desenvolvidas com a finalidade de uso, compartilhamento e recuperação de dados geoespaciais, tendo como objetivo a criação de um ambiente no qual pessoas possam cooperar entre si e interagir para atingir objetivos políticos e administrativos de forma otimizada (ALENCAR e SANTOS al., 2013). Segundo Harvey et al. (2012), as IDEs melhoram o compartilhamento e utilização de dados e serviços geoespaciais, auxiliando diferentes usuários de uma determinada comunidade.

A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) é uma empresa do ramo energético no Brasil, sendo atualmente uma corporação constituída por mais de 200 empresas, com participação no ramo de produção, transmissão e distribuição de energia, além de distribuição de gás e rede de comunicações (CEMIG, 2016).

A Cemig desenvolve uma IDE denominada IDE-Cemig visando auxiliar o compartilhamento e descoberta de dados geoespaciais pelos seus funcionários, empresas parceiras e clientes. Para sua elaboração, a empresa elaborou um projeto com participação de outras organizações governamentais. O projeto de pesquisa e desenvolvimento “GeoPortal Cemig – SIG corporativo baseado em IDE” é o resultado da parceria entre a corporação Cemig e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig). Uma das metas do projeto consiste na elaboração de um método para desenvolvimento de IDEs corporativas (ALVES et al., 2016).

Para a especificação e o desenvolvimento de uma IDE, a International Cartographic Association (ICA) propõe um modelo, que tem como base o Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP). O modelo para especificação de IDE da ICA descreve três das cinco perspectivas do RM-ODP, Empresarial, Informação e Computação (HJELMAGER et al., 2008). As outras duas perspectivas do framework, Engenharia e Tecnologia, não foram descritas no modelo da ICA, sendo deixadas em aberto com a ressalva de possuírem dependência com implementação a ser utilizada (COOPER et al., 2011).

Segundo Oliveira et al. (2016a), é possível utilizar o modelo formal da ICA adaptado, para especificar IDEs corporativas, sendo deixado em aberto a possibilidade de elaboração das

perspectivas Engenharia e Tecnologia. Torres et al. (2016) desenvolve uma modelagem sobre a perspectiva Engenharia para uma IDE corporativa, tendo como base o RM-ODP.

Segundo Putman (2000), a perspectiva Tecnologia possibilita a especificação de uma arquitetura de tecnologias a serem empregadas na implementação do hardware e do software, de acordo com as funcionalidades descritas nas outras quatro perspectivas.

Desta forma, este artigo apresenta a especificação da perspectiva Tecnologia para a IDE-Cemig, tendo como base o modelo formal para IDE da ICA adaptado. O artigo está estruturado como segue. A Seção 2 descreve o modelo formal da ICA para IDE. A Seção 3 apresenta a especificação da perspectiva Tecnologia para o caso de estudo da IDE-Cemig. A Seção 4 discute os resultados apresentados neste estudo e na Seção 5 são apresentadas as considerações finais e possibilidades de trabalhos futuros.

2 MODELO FORMAL DA ICA PARA ESPECIFICAÇÃO DE IDE

O RM-ODP trata-se de um framework para especificação de sistemas distribuídos heterogêneos, proporcionando distribuição, interoperabilidade, portabilidade, independência de plataforma e tecnologia (FAROOQUI et al., 1995). O framework é o produto resultante de uma parceria entre a International Organization for Standardization (ISO), a International Electrotechnical Commission (IEC) e Telecommunication Standardization Sector (Raymond; Armstrong, 2013).

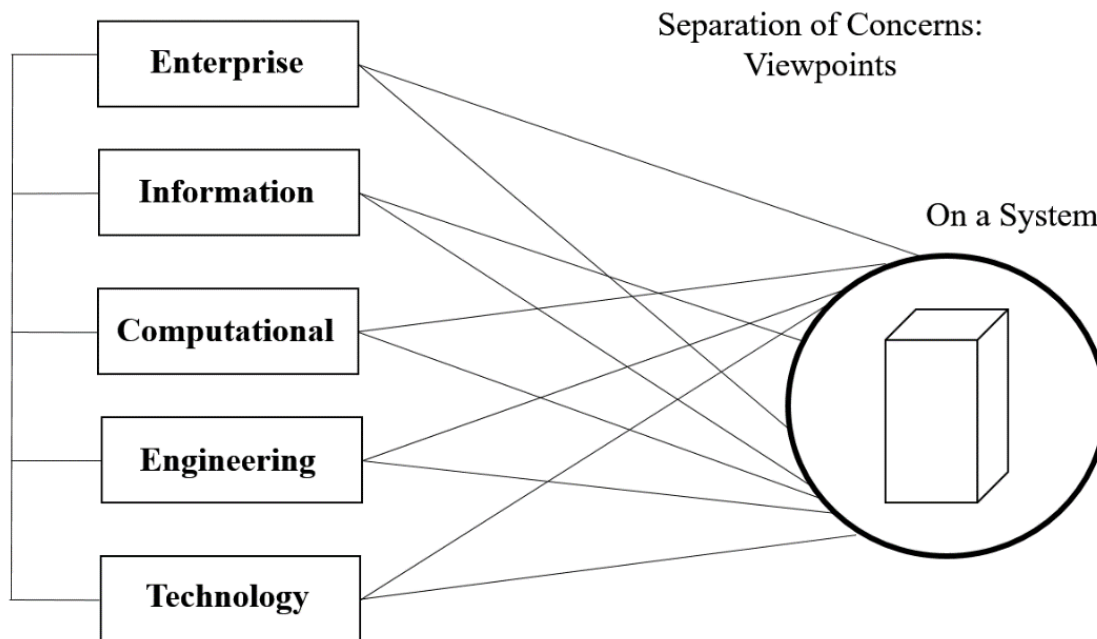


Figura 2.2.1: Perspectivas do RM-ODP
Fonte: (PUTMAN, 2000)

O RM-ODP é constituído por cinco perspectivas, sendo que cada uma representa um ponto de vista arquitetural do sistema (EGYHAZY, 2004). Sendo que cada perspectiva não representa uma parte isolada do sistema, ela descreve uma maneira diferente de observar o mesmo sistema (PUTMAN, 2000). Com a utilização dessas visões, o modelo é especificado em cinco modelos menores, sendo que cada perspectiva responde a questões relevantes específicas para diferentes usuários (LININGTON et al., 2011) (RAYMOND; ARMSTRONG, 2013).

A Figura 2.2.1 ilustra as cinco perspectivas do RM-ODP. A seguir são descritas de forma resumida as definições propostas por Linington et al. (2011) e Putman (2000) sobre cada perspectiva.

- A perspectiva Empresarial é a responsável pelo escopo e políticas para composição do projeto, etapa na qual são definidos os requisitos do sistema.
- A perspectiva Informação é relacionada com a semântica da informação e seu processamento, visão que descreve as estruturas e tipos de dados utilizados no sistema.
- A perspectiva Computacional relaciona com funcionalidades, cujo ponto de vista do sistema é uma divisão em diversas funcionalidades. Nessa visão há uma preocupação em descrever as funcionalidades fornecidas pelo sistema em termos de objetos, sendo essas funcionalidades decompostas em objetos funcionais com interação com o uso de interfaces próprias.

- A perspectiva Engenharia é construída observando mecanismos e funções necessárias para suportar interações entre as funcionalidades do sistema descritas na perspectiva Computacional. Há uma preocupação em definir unidades lógicas de processamento e informações, focando em termos de sua distribuição lógica, assim como sua comunicação em termos de canais de comunicação. Além disso, na perspectiva Engenharia há um foco com a distribuição entre componentes e canais para sua comunicação.
- A perspectiva Tecnologia está relacionada com as necessidades do sistema em relação as tecnologias necessárias. Nela são descritas tecnologias para o fornecimento de processamento, funcionalidades e visualização de informações.

2.1. Perspectiva Tecnologia

Segundo Putman (2000), a perspectiva Tecnologia fornece uma visão em termos de software e hardware na construção do sistema, requisitos de tecnologia mínimos necessários, assim como evolução de sua vida útil. Essa perspectiva representa uma visão concreta dos componentes elaborados nas outras perspectivas do RM-ODP, com a finalidade de descrever os componentes que irão receber os produtos e tecnologias para implementação, assim como permitir uma verificação da adequação dos componentes (RAYMOND; ARMSTRONG, 2013).

O RM-ODP disponibiliza estruturas a serem utilizadas para sua composição. A norma ISO/IEC 10746-3:2009(E) (2010) descreve as seguintes estruturas a serem utilizadas para elaboração da perspectiva Tecnologia: objeto tecnológico; padrões de implementação e IXIT (Implementation Extra Information for Testing).

A especificação tecnológica baseia-se no uso de objetos tecnológicos, componentes que abstraem um hardware ou um software a serem utilizados na implementação do sistema (LININGTON et al., 2011). A Figura 2.2.2 ilustra um exemplo de objetos tecnológicos de uma empresa de telefonia. Nela se pode observar o uso de objetos tecnológicos para representar diversos componentes como impressora, computador, leitor de barras, rede local, rede externa, firewall, servidor e um sistema remoto. Também é possível observar ligações entre seus componentes. Por exemplo, o componente Remote System, ao se comunicar com o componente Enterprise Application Server, deve utilizar a rede WAN e, obrigatoriamente, atravessar o componente Firewall. Também é possível observar que o sistema é constituído de duas redes locais independentes, com controle de acesso entre elas por meio do uso de um firewall, no qual podem ser inseridas medidas de controle de acesso à rede.

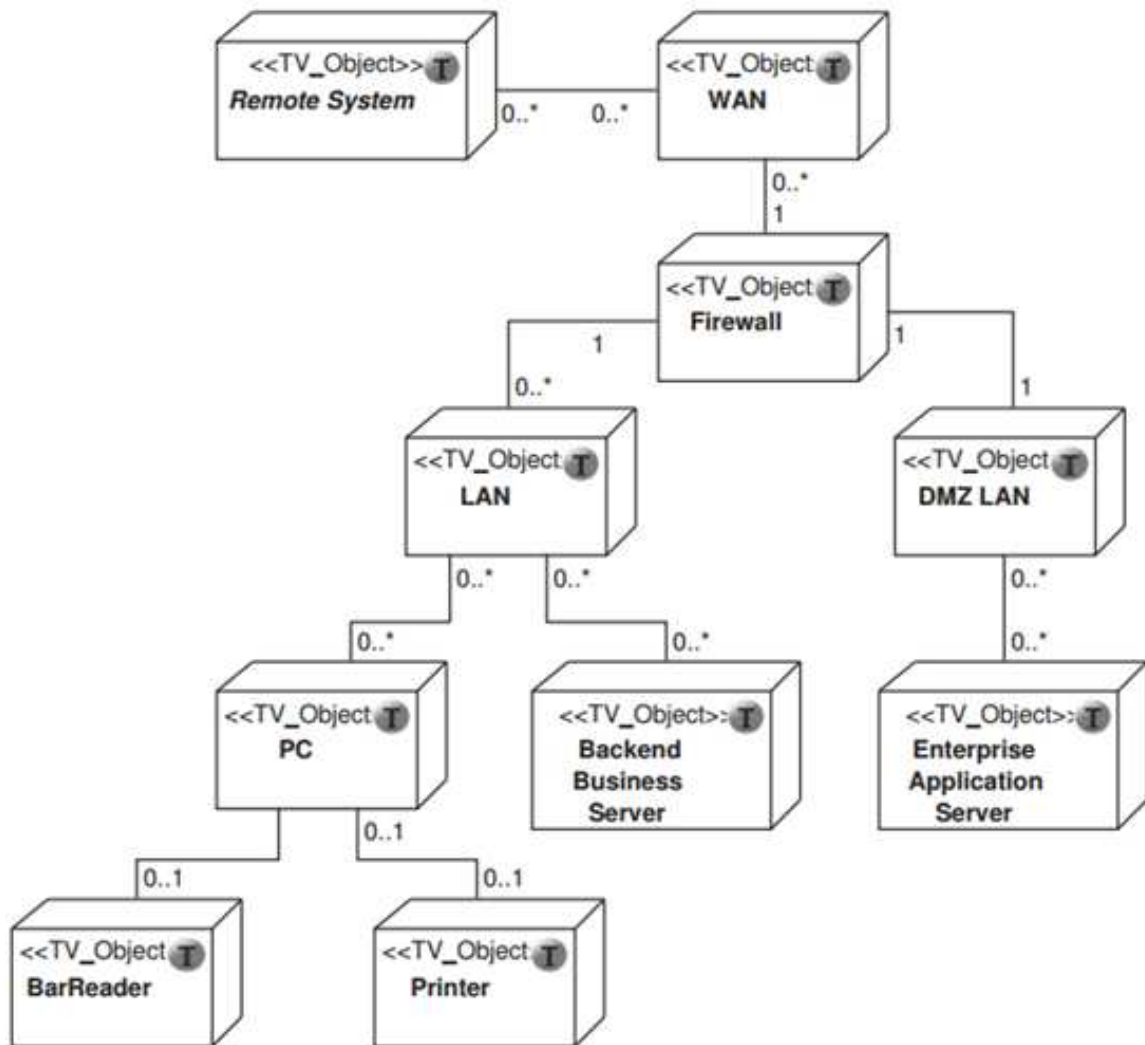


Figura 2.2.2: Representação de objetos tecnológicos
Fonte: (LININGTON et al. 2011)

Segundo Wnuk et al. (2014), nota-se um constante avanço no quesito compatibilidade entre tecnologias distintas. Empresas desenvolvedoras de hardware e software elaboram seus produtos para que sejam sempre cada vez mais compatíveis com tecnologias de outros fabricantes, com intuito que possam trabalhar juntas de forma harmônica e funcional. No entanto, ainda existem tecnologias que são incompatíveis entre si. Devido a essa possível incompatibilidade, é necessária uma especificação com esquemas relacionando o conjunto de componentes e tecnologias utilizado para a verificação de compatibilidade e performance do sistema (Linington et al., 2011). Com o intuito de suprir essa demanda, o RM-ODP orienta que sejam definidos os padrões de implementação para projeto, diagrama no qual são especificadas as tecnologias utilizadas, relacionadas com seus respectivos objetos tecnológicos (ISO/IEC 10746-3:2009(E), 2010).

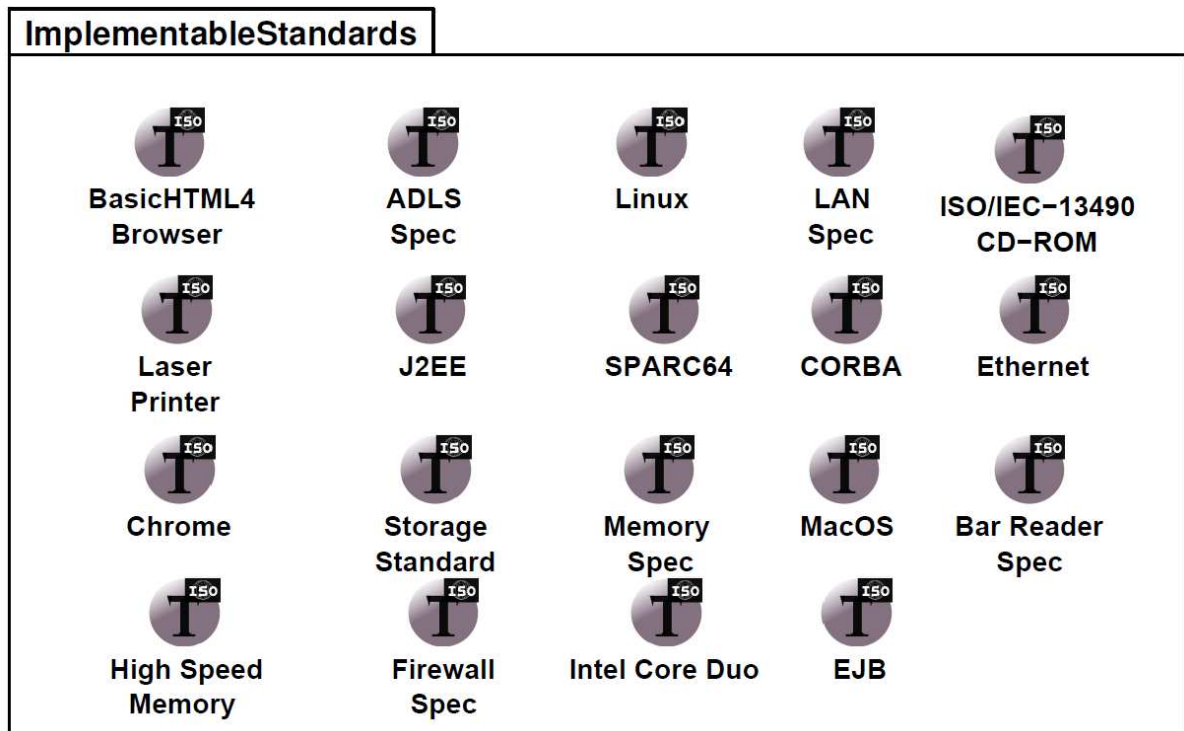


Figura 2.2.3: Padrões de implementação geral
Fonte: Adaptado de (LININGTON et al., 2011)

A Figura 2.2.3 representa os Padrões de Implementação Geral. O diagrama contém o conjunto de tecnologias a serem utilizadas na implementação do projeto. Nele é possível observar a existência de incompatibilidades ou restrição dentro do conjunto das tecnologias utilizadas (Linington et al., 2011). Para uma empresa já é possível observar se há alguma tecnologia que foge de suas normas como, por exemplo, a restrição de utilizar apenas software livre e também sua disponibilidade orçamentaria para aquisição tecnológica. Na escolha de tecnologias, deve-se considerar tecnologias que a empresa possua familiaridade e tenha preferência no uso (ISO/IEC 10746-3:2009(E), 2010).

Para uma maior visibilidade entre componentes e tecnologias, é utilizado um diagrama que relaciona objetos tecnológicos e suas tecnologias utilizadas. A Figura 2.2.4 representa os objetos tecnológicos com suas respectivas tecnologias. Nela, observa-se a existência de uma rede simples interligando componentes. O componente Remote System, representado por um ícone semelhante a um computador, utiliza um navegador com tecnologia HTML4 com acesso a um objeto do tipo impressora com tecnologia de impressão laser. Para realização de uma impressão, o computador deve utilizar como meio de comunicação uma rede WAN do tipo ADLS, para se comunicar posteriormente a Rede de Área Local (LAN) da impressora. Para a

realização dessa comunicação, o acesso é controlado por um firewall que validará a permissão de acesso do computador a impressora.

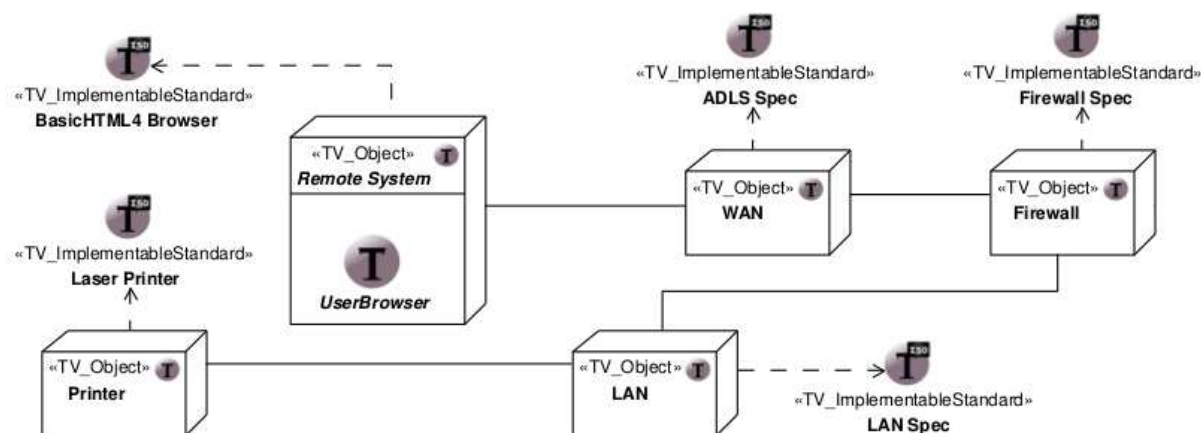


Figura 2.2.4: Padrões de implementação com respectivas tecnologias
Fonte: Adaptado de (LININGTON et al., 2011)

Objetos tecnológicos podem estar acompanhados de informações básicas para serem verificados em sua implementação e teste. Para adição desse conteúdo, o padrão RM-ODP define o conceito IXIT (Implementation Extra Information for Testing). O IXIT contém informações extras que orientam na implementação do projeto para verificação de suas necessidades básicas de funcionamento. Sua elaboração consiste em elementos textuais anexados aos objetos tecnológicos em que se deseje realizar sua especificação (PUTMAN, 2000).

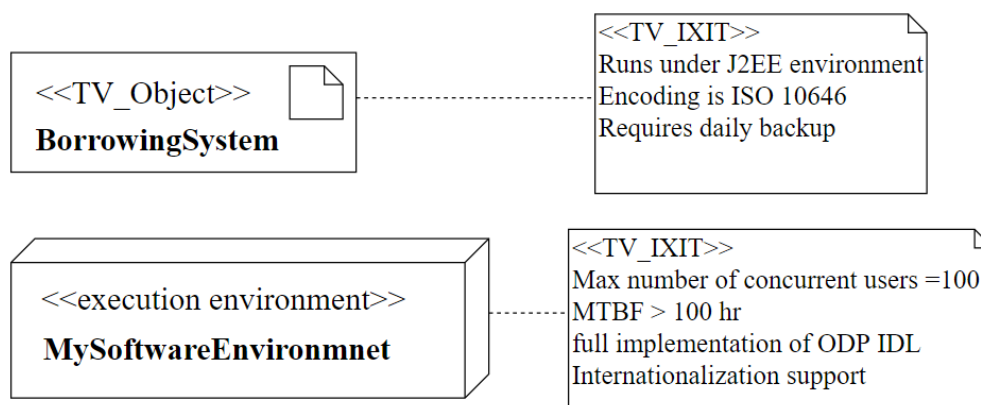


Figura 2.2.5: Uso de IXIT em componentes
Fonte: (ITU, 2011)

Na Figura 2.2.5 há uma representação de componentes IXIT em uma aplicação. Nela observa-se que o componente BorrowingSystem está acompanhado de uma descrição IXIT descrevendo os requerimentos: executar em ambiente Java2 Platform Enterprise Edition (J2EE); possuir a codificação de caracteres ISO 10646; e requerer o uso de backup diário. Já o componente MySoftwareEnvironment possui os requerimentos: Máximo de cem usuários simultâneos; Período Médio Entre Falhas (MTBF) maior que 100 horas; suporte a internacionalização; utilizar Implementação da Interface Processamento Distribuído Aberto (ODP IDL).

3 ESPECIFICAÇÃO DA PERSPECTIVA TECNOLOGIA DA IDE-CEMIG

Esta seção apresenta a especificação da perspectiva Tecnologia da IDE-Cemig. Os elementos desta perspectiva foram especificados de acordo com os componentes documentados na perspectiva Computação (OLIVEIRA et al., 2016b) e Engenharia (TORRES et al., 2016).

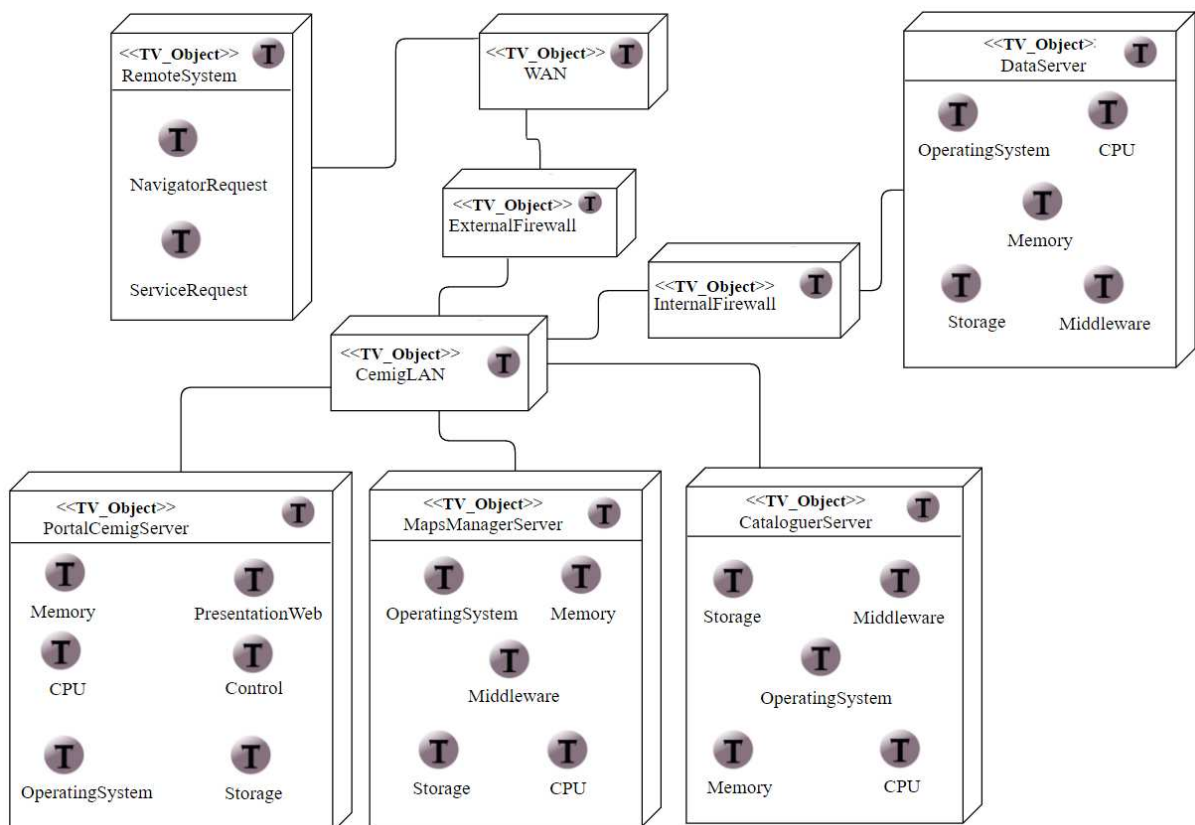


Figura 2.2.6: Objetos tecnológicos da perspectiva Tecnologia para a IDE Cemig
Fonte: O autor (2016)

O diagrama elaborado consiste de nove objetos tecnológicos representando firewalls, redes, servidores e o usuário do sistema, conforme ilustrado na Figura 2.2.6. Sua elaboração tem como base os requisitos descritos pelas perspectivas anteriores do modelo da ICA para o modelo da IDE-Cemig definidos por Oliveira et al. (2016a), Oliveira et al. (2016b), Torres et al. (2016) e pelo Relatório Técnico N.002/2016 da Cemig (ALVES et al., 2016).

O elemento RemoteSystem representa um usuário do sistema que pretenda acessar a IDE-Cemig. Para isso, ele dispõe de duas interfaces: um navegador Web e serviços para comunicação com softwares tradicionais de manipulação de Geographic Information System (GIS). Para o controle de acesso ao sistema existem dois objetos tecnológicos representando firewalls. O primeiro elemento, ExternalFirewall, consiste em uma proteção contra invasões externas e acessos não autorizados, controlando todas as conexões entre os servidores da rede CemigLan com computadores localizados em redes externas WAN. O segundo firewall, InternalFirewall, consiste em proteção extra de acesso a informações ao componente DataServer, servidor contendo informações geográficas e gerenciado por um banco de dados. A sua criação é uma norma da Cemig, na qual se deve existir uma proteção extra ao acesso no servidor de armazenamento de dados geográficos (ALVES et al., 2016).

Os outros objetos tecnológicos representam quatro servidores responsáveis por diversas funções no sistema. São constituídos pelos seguintes componentes: PortalCemigServer; MapsManagerServer; CataloguerServer e DataServer.

O objeto tecnológico DataServer representa um servidor onde são armazenadas informações geográficas. Nele são armazenadas informações em um banco de dados que possua recursos de armazenagem e gerenciamento de dados espaciais.

MapsManagerServer trata-se de um servidor responsável por gerar uma visualização gráfica de dados utilizando informações disponibilizadas pelo objeto DataServer. Deve atender chamadas via navegador Web e também pelo uso de serviços Web.

CataloguerServer consiste em um servidor que disponibiliza um catálogo com informações geográficas disponíveis na base de dados para o usuário. As informações devem ser disponibilizadas juntamente com seus metadados, os quais seguem o padrão Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (MGB) (Brasil, 2010).

Por fim, o objeto PortalCemigServer consiste em um servidor que possui a responsabilidade de fornecer uma interface Web para o objeto Sistema Remoto, cuja interface permite acesso as seguintes funcionalidades do sistema para a perspectiva Engenharia (Torres et al., 2016): PortraitSDICemigOps; DataSDICemigOps e CatalogSDICemigOps. O servidor,

para atender essas necessidades, se comunica com os objetos: MapsManagerServer para geração de mapas; CataloguerServer para obtenção de um catálogo de dados; e DataServer para obtenção dos dados geográficos da base de informações geográficas.

Fonseca (2016) realiza uma análise e comparação de diversos softwares e tecnologias disponíveis no mercado para serem usadas em implementações de IDE. Nela são propostas diversas ferramentas para atender componentes constituintes de uma IDE, como servidor de mapas, servidor de dados e catálogos de informações.

O PortalCemigServer é responsável pela interface de navegação, utilizando tecnologias que possam ser implementadas em um website (e.g., OpenLayers, AngularJS). Para isso, são escolhidas tecnologias que a empresa possua familiaridade e preferência em utilizá-las (ALVES et al., 2016).

Para a construção dos componentes internos dos servidores PortalCemigServer, CataloguerServer, DataServer, os quais possuem finalidades especializadas, foram escolhidas tecnologias sugeridas por Fonseca (2016) e em conformidade com a empresa Cemig. A Figura 2.2.7 ilustra o uso dessas tecnologias vinculadas aos seus respectivos objetos tecnológicos.

O servidor PortalCemigServer contém os componentes PresentationWeb e Control. O componente PresentationWeb representa a camada de visualização do sistema, sendo proposto para sua construção o uso do framework AngularJS¹. Para o componente Control foi designado o framework Ruby on Rails².

Para os servidores MapsManagerServer, CataloguerServer e DataServer foram designados os softwares MapServer³, GeoNetwork⁴ e PostgreSQL⁵, respectivamente. Esses softwares, segundo Fonseca (2016), possuem uma boa adequação como componentes na construção de IDEs. Com o intuito de contemplar a necessidade de replicação de dados da perspectiva Engenharia (TORRES, 2016), o servidor DataServer utiliza para o componente Storage a tecnologia Redundant Array of Independent Disks (RAID) (ELLIS et al., 1996).

O componente RemoteSystem possui o elemento NavigatorRequest, sendo representado por um navegador que utiliza HyperText Markup Language 5 (HTML5) para acesso ao sistema por meio da Web.

¹<https://angularjs.org/>

² <http://rubyonrails.org/>

³ <http://www.mapserver.org/>

⁴ <http://geonetwork-opensource.org/>

⁵ <http://www.postgresql.org/>

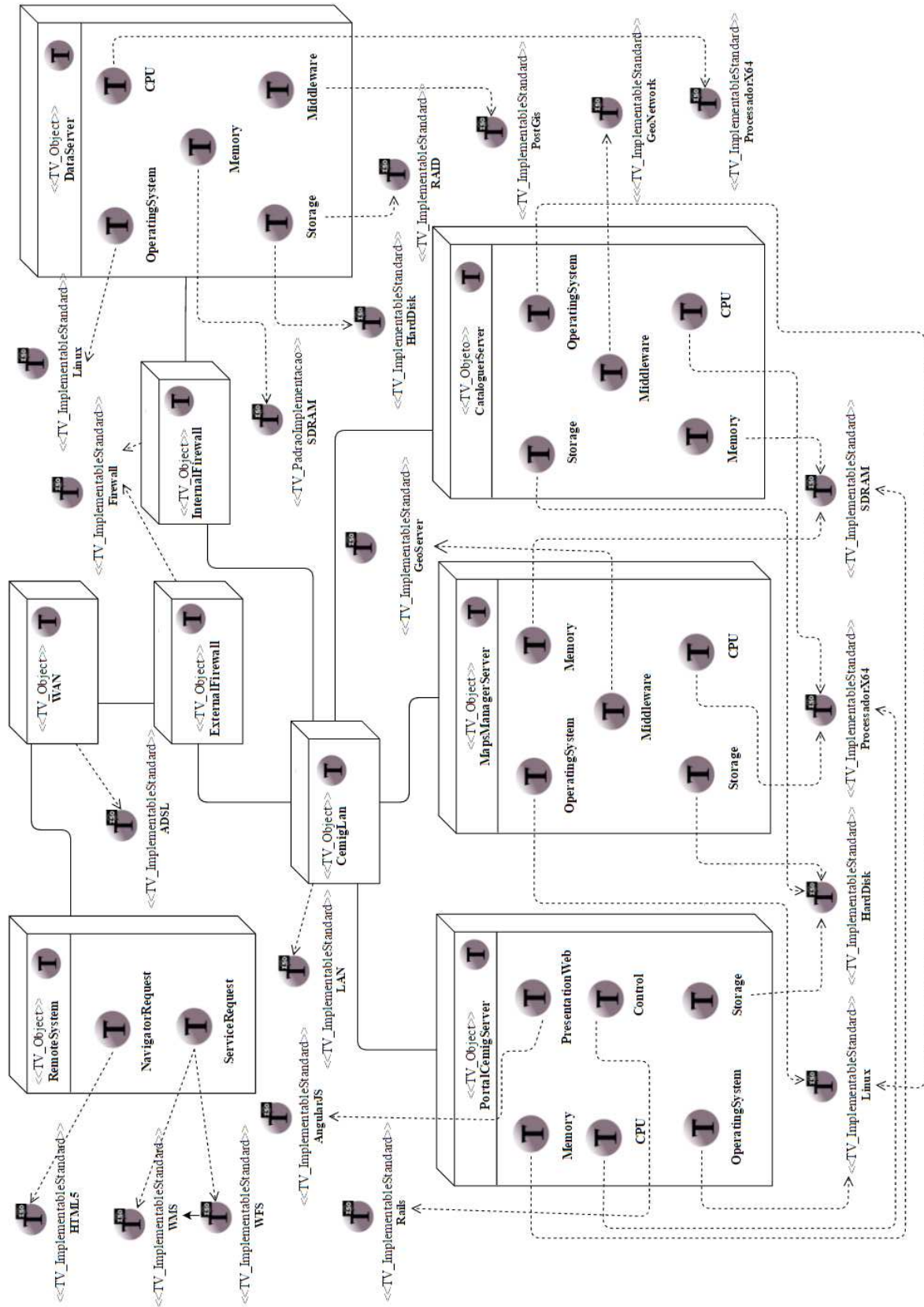


Figura 2.2.7: Padrões de implementação com objetos tecnológicos
Fonte: O autor (2016)

O componente ServiceRequest representa um software que utilize os padrões de comunicação Web Map Service (WMS) e Web Feature Service (WMF), padrões para acesso a informações geográficas por meio de serviços, compatíveis com diversos softwares GIS e servidores de mapas (FONSECA, 2016).

Os componentes CemigLAN, WAN, InternalFirewall e ExternalFirewall não possuem uma especificação extra, por serem padrões já estabelecidos representando redes e firewalls.

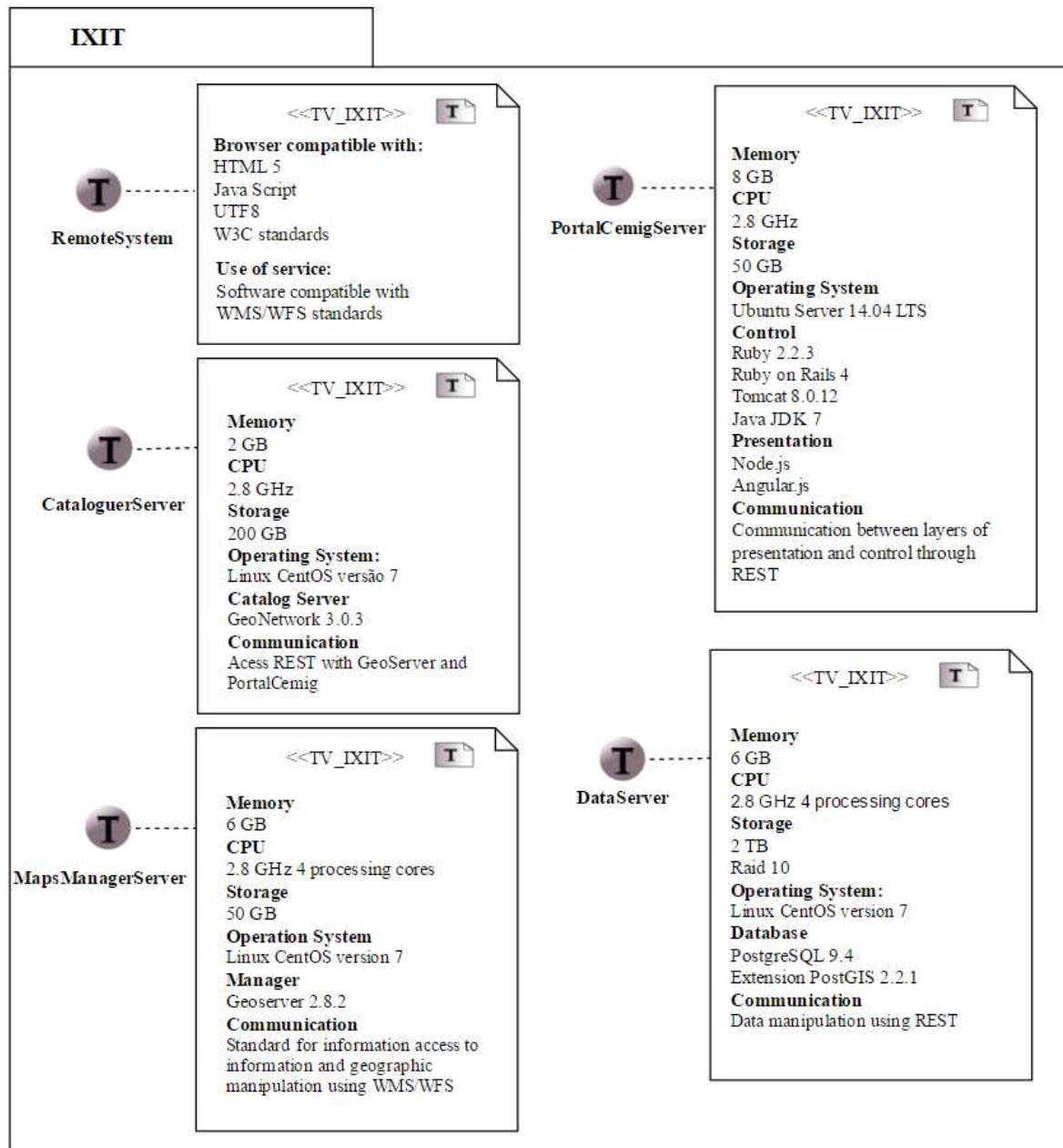


Figura 2.2.8: Diagrama IXIT para IDE-Cemig
Fonte: O autor (2016)

A Figura 2.2.8 representa o diagrama IXIT do modelo da IDE-CEMIG. O diagrama contém informações adicionais que devem ser observadas no processo de implementação tecnológico. Sistemas operacionais foram definidos pela Cemig, não sendo uma restrição as mudanças para outro sistema, desde que baseadas em um ambiente Linux.

Especificações definidas sobre hardware representam um hardware mínimo que deve ser utilizado no projeto e são baseadas nas especificações mínimas definidas por cada fornecedor tecnológico respectivo. Versões definidas para softwares representam suas versões atuais e servem de orientação, não havendo restrição alguma ao uso de uma versão mais recente. No entanto, para o uso de novas versões, deve ser verificada a continuidade de compatibilidade e interoperabilidade entre as tecnologias utilizadas. Novas funcionalidades para o sistema podem ser inseridas com a criação de novos componentes tecnológicos, desde que esses possuam uma interface em comum de comunicação com o restante do sistema e possuam arquitetura de comunicação orientada a serviços.

No diagrama IXIT são descritas as principais regras de comunicação que devem ser verificadas na implementação entre componentes. O RemoteSystem deve possuir software compatível com os padrões Web Map Service (WMS) e Web Feature Service (WFS) para a utilização de diferentes serviços Web, sejam eles de outras IDEs ou não, e HTML5 para interface via navegador. CataloguerServer, com uso do GeoNetwork, deve possuir capacidade de acesso ao software GeoServer e ao componente PortalCemigServer por meio de uma interface Representational State Transfer (REST) (Fielding, 2000). MapaManagerServer deve permitir acesso por meio dos padrões WMS e WMF. PortalCemigServer e DataServer devem realizar a comunicação se baseando em REST.

A figura 2.2.9 ilustra os componentes da perspectiva Computação, descrita em (OLIVEIRA et al., 2016b). Ela é dividida nos pacotes: Human_Objects, constituindo os usuários do sistema; Presentation_Objects, compondo interfaces de acesso aos seus usuários; Application_Objects, representando as funcionalidades do sistema; e Data_Management_Objects, objetos que abstraem armazenamento de dados e sua organização.

Assim, a perspectiva Tecnologia (figura 2.2.7), implementa os componentes que se encontram descritos em termos de funcionalidades pela perspectiva Computação da IDE-Cemig (figura 2.2.9). A seguir os elementos da perspectiva Tecnologia estão relacionados com os seus correspondentes componentes da perspectiva Computação:

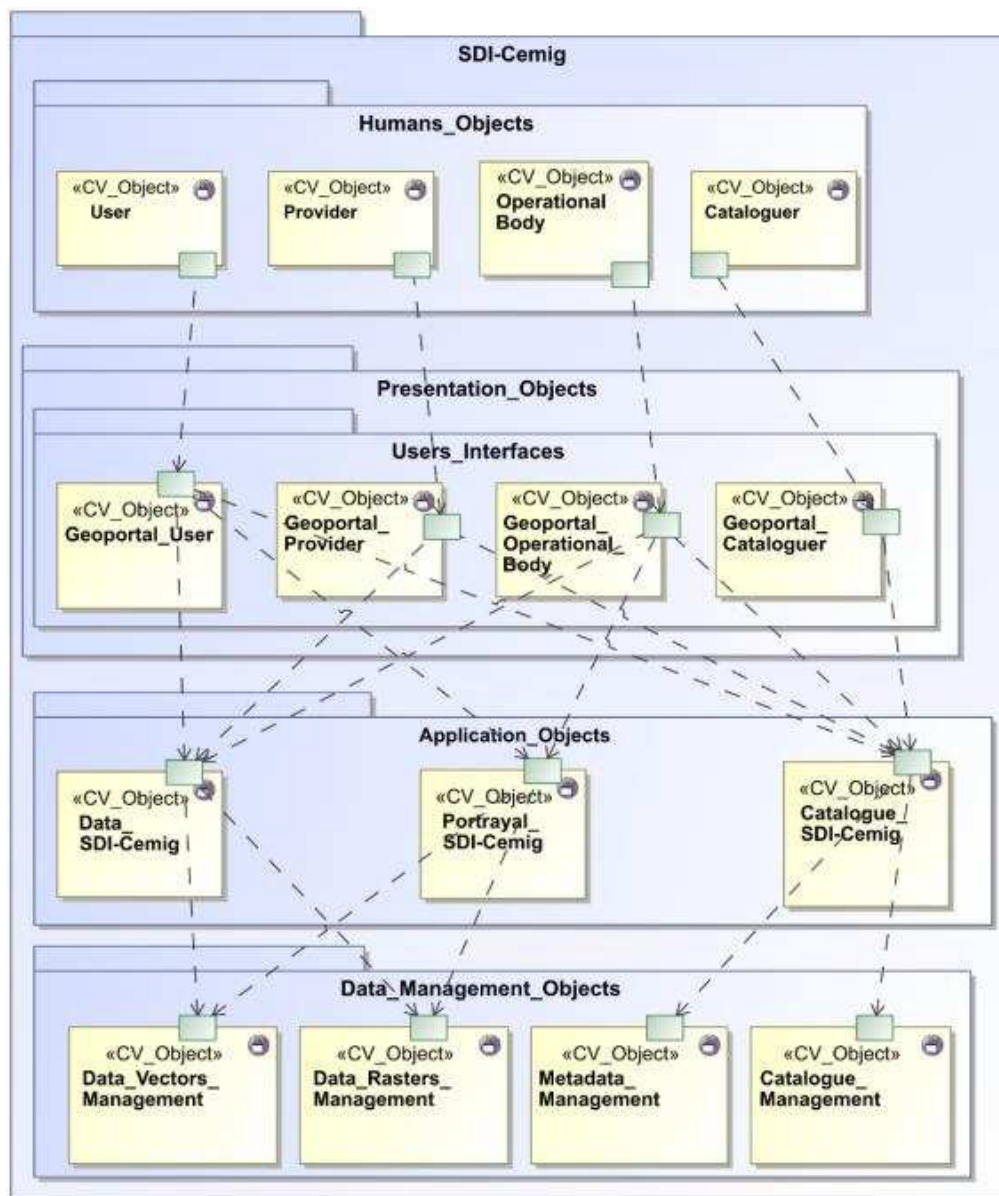


Figura 2.2.9: Visualização simplificada da perspectiva Computação
Fonte: (OLIVEIRA et al., 2016b)

- O componente RemoteSystem corresponde aos componentes User, Provider, Operational Body e Cataloguer;
- PortalCemigServer contempla as interfaces de usuários propostas no pacote User_Interfaces;
- O servidor MapsManagerServer atende Portrayal_SDI-Cemig responsável pela visualização de mapas;
- CataloguerServer atende Metadata_Management e Catalogue_Management para catalogação de informações, juntamente com seus metadados correspondentes;

- DataServer contempla os objetos Data_SDI-Cemig, Data_Vectors_Management e Data_Rasters_Management, responsável pelo gerenciamento da informação da base de dados.

4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A elaboração da perspectiva Tecnologia para a IDE-Cemig se baseia no modelo formal proposto pela ICA para IDEs, modelo no qual são definidos elementos básicos necessários na composição de uma IDE. A perspectiva elaborada é uma continuidade e extensão dos trabalhos (OLIVEIRA, 2015), (OLIVEIRA et al., 2016a), (OLIVEIRA et al., 2016b) e (TORRES et al., 2016), relacionados à especificação das perspectivas Empresarial, Informação, Computação e Engenharia para a IDE-Cemig. Embora a perspectiva Tecnologia possua implementação dependente de tecnologias, o modelo elaborado propõe uma implementação com comunicação entre componentes com o uso de serviços. Com a utilização de serviços, há um ambiente com maior independência para a realização de mudanças tecnológicas. A perspectiva Tecnológica também serve como uma orientação, provendo uma listagem de tecnologias que podem ser usadas ou modificadas de acordo com as necessidades de uma corporação.

A perspectiva Tecnologia é composta por objetos tecnológicos representando desde componentes físicos a funcionalidades, sendo organizados de forma independente e isolados entre si. Sua comunicação é realizada por meio de uma arquitetura orientada a serviços, nos quais um objeto tecnológico requisita um pedido a outro componente por meio de uma interface de comunicação em comum. Com isso, a troca de um componente com certa tecnologia por outro componente de outra tecnologia não impacta significativamente a IDE.

As tecnologias sugeridas para os objetos tecnológicos, juntamente com suas versões e requisitos mínimos, servem de referência para uma implementação, não havendo nenhuma restrição caso uma empresa queira realizar sua troca por outra tecnologia, ou mesmo versões diferentes. Destaca-se que a escolha de uma nova tecnologia deve suprir necessidades mencionadas pela perspectiva Tecnologia por meio dos diagramas Componentes Tecnológicos e IXIT. Por exemplo, caso a corporação deseje realizar a troca da tecnologia do banco de dados por uma outra tecnologia, basta apenas verificar se a nova tecnologia possui comunicação com o uso de serviços e o atendimento aos requisitos definidos no diagrama IXIT. As alterações irão corresponder apenas a uma troca de componente no diagrama de padrões de implementação.

As escolhas de tecnologias para elaboração dos diagramas tecnológicos foram baseadas no trabalho de (FONSECA, 2016) e na facilidade e familiaridade da empresa em utilizá-las.

Com relação a novas funcionalidades no projeto, essas podem ser inseridas por meio da criação de novos componentes, desde que possuam uma interface em comum de comunicação entre si e trabalhem orientadas no uso de serviços.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a especificação da quinta perspectiva do modelo da ICA, a IDE-Cemig possui um modelo contemplando todas as cinco perspectivas do RM-ODP, permitindo que o modelo seja consultado como um todo. Ou seja, a especificação de todas as perspectivas permite uma visão geral e especializada da IDE-Cemig. Apesar da perspectiva elaborada definir tecnologias a serem usadas na implementação de uma empresa corporativa, a especificação da perspectiva Tecnologia para a IDE-Cemig sugere que uma especificação semelhante possa ser utilizada em outras IDEs não somente corporativas e relacionadas ao setor elétrico, mas também IDEs de diferentes níveis (e.g., regional, nacional, local). Caso se queira realizar alterações, como a troca de uma tecnologia por outra, o modelo constituído de módulos permite sua alteração desde que a nova tecnologia atenda aos requisitos necessários descritos na perspectiva. O uso de módulos independentes facilita caso haja necessidade de incluir novas funcionalidades para o sistema, pois novos componentes podem ser adicionados sem alterações significativas no projeto. As escolhas das tecnologias para esse trabalho foram baseadas por sugestões da empresa Cemig e pela pesquisa de FONSECA (2016), trabalho no qual são realizados testes em diversas tecnologias para execução de funcionalidades em uma IDE.

Como trabalhos futuros, seria importante aplicar o modelo formal da ICA para atender IDEs de maior abrangência como em nível regional e nacional.

AGRADECIMENTOS

Esse projeto de pesquisa foi parcialmente financiado Fapemig e CAPES, juntamente com a Empresa Cemig.

3 AS PERSPECTIVAS DO RM-ODP PARA A IDE-CEMIG

Esse capítulo apresenta um breve resumo das perspectivas Empresarial, Computação e Informação da IDE-Cemig, elaboradas por Oliveira (2015), sendo apresentadas nas próximas seções. Na última seção do capítulo é apresentada uma relação entre as perspectivas elaboradas por Oliveira (2015) com relação as novas perspectivas elaboradas nesse trabalho.

3.1. Perspectiva Empresarial

A perspectiva Empresarial define regras de negócio do sistema. Nessa perspectiva são construídas comunidades com seus respectivos papéis na interação do sistema (LININGTON et al., 2011).

O RM-ODP introduz o conceito de comunidade (community) como um conjunto de uma ou mais entidades que possuem um comportamento semelhante e que buscam alcançar um determinado objetivo em comum (LININGTON et al., 2011). Segundo Hjelmager (2008), o comportamento que as comunidades podem assumir são descritos por meio de papéis para facilitar sua reutilização.

A Figura 3.1 ilustra uma representação simplificada da perspectiva Empresarial da IDE-Cemig. Para sua composição são utilizados os conceitos de comunidades e papéis. As comunidades são representadas por EV_CommunityObject e os papéis compostos pelos elementos EV_Role. Para exemplificação, observe a comunidade Comitê. Ela é formada por membros de diversos setores da Cemig, representados pelas comunidades Representative, como a IT e os setores Generation, Transmission e Distribution, e tem como responsabilidade definir o funcionamento de certos processos executados por esses setores. Devido a isso, o Comitê assume diversos papéis (roles) como Director, Broker, Operational Body e outros.

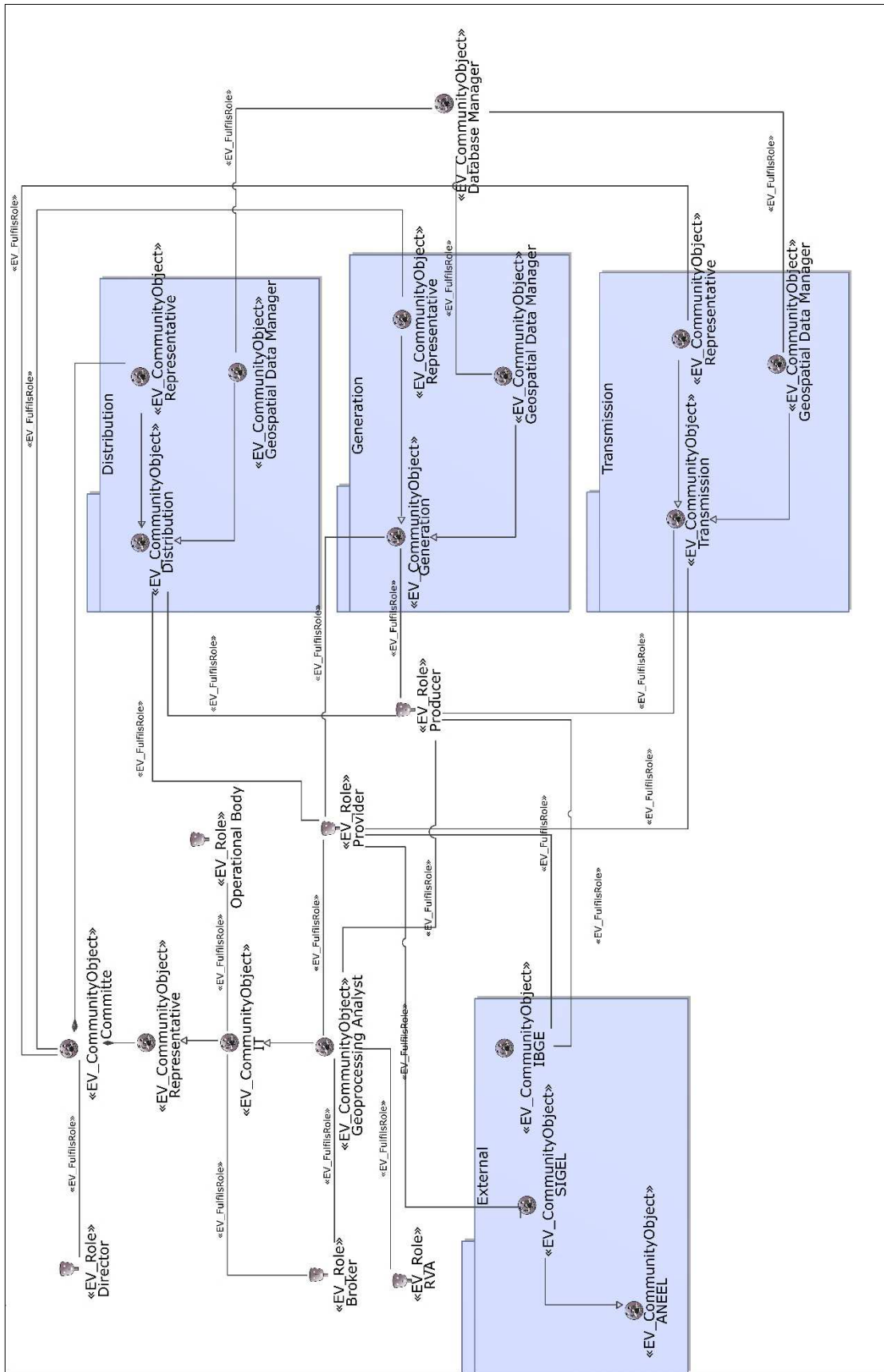


Figura 3.1: Representação simplificada das comunidades e seus papéis
Fonte: (OLIVEIRA et al., 2015)

A IDE-Cemig interage com comunidades externas, além de suas próprias comunidades. Elas foram representadas por um grupo denominado External, composto por comunidades que representam entidades organizacionais externas que interagem com a IDE-Cemig. Essas comunidades possuem nomes homônimos as suas respectivas entidades, sendo representadas por IBGE, SIGEL e ANEEL.

A comunidade IBGE assume o papel de Producer. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é um órgão público federal que produz dados geoespaciais de abrangência nacional, sendo também o responsável em definir padrões a serem utilizados por outras organizações produtoras de dados geoespaciais. Seus dados produzidos são disponibilizados pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), a qual a IDE-Cemig interage para a recuperação de dados por meio do uso de serviços Web (web services).

O Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL) é um sistema que permite a visualização e obtenção de dados geoespaciais disponibilizados por diversas empresas do setor elétrico. Esse sistema é de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma empresa que regulamenta e fiscaliza o mercado de energia elétrica brasileiro. O SIGEL assume o papel de Provider, disponibilizando seus dados para a IDE-Cemig, enquanto ANEEL assume o papel de User na IDE-Cemig, pois ela irá utilizar a IDE-Cemig para recuperar dados utilizando o GeoPortal ou por meio do uso de serviços Web.

3.2. Perspectiva Informação

Segundo Linington et al. (2011), a perspectiva Informação é responsável por modelar a informação compartilhada que é manipulada pelo sistema. Segundo Hjelmager et al. (2008), essa perspectiva propõe o uso de dados, definindo sua semântica e seu comportamento. Seus dados são regulados pela perspectiva Empresarial por meio de políticas. Para IDEs, Hjelmager et al. (2008) consideram como dados os produtos disponibilizados por uma IDE: serviços e dados geográficos.

A Figura 3.2 representa o diagrama de classes para a perspectiva Informação da IDE-Cemig. O componente Policies define os dados geoespaciais básicos que a IDE precisa possuir, além de permitir a ligação com a perspectiva Empresarial. O componente Product se especializa nas classes Service e Data, sendo descritos por meio da classe Metadata, permitindo que o usuário obtenha diversas informações sobre o produto a ser disponibilizado. Essas informações são padronizadas utilizando o Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB), buscando a IDE ser compatível com a INDE e IDEs governamentais conforme definido em (BRASIL, 2010).

Ambos Metadata e Product serão registrados em Catalogue para auxiliar na procura de informações. Catalogue é dividido em temas com relação aos seus dados geoespaciais oferecidos como, por exemplo, hidrografia, geração, transmissão, distribuição, infraestrutura, etc.

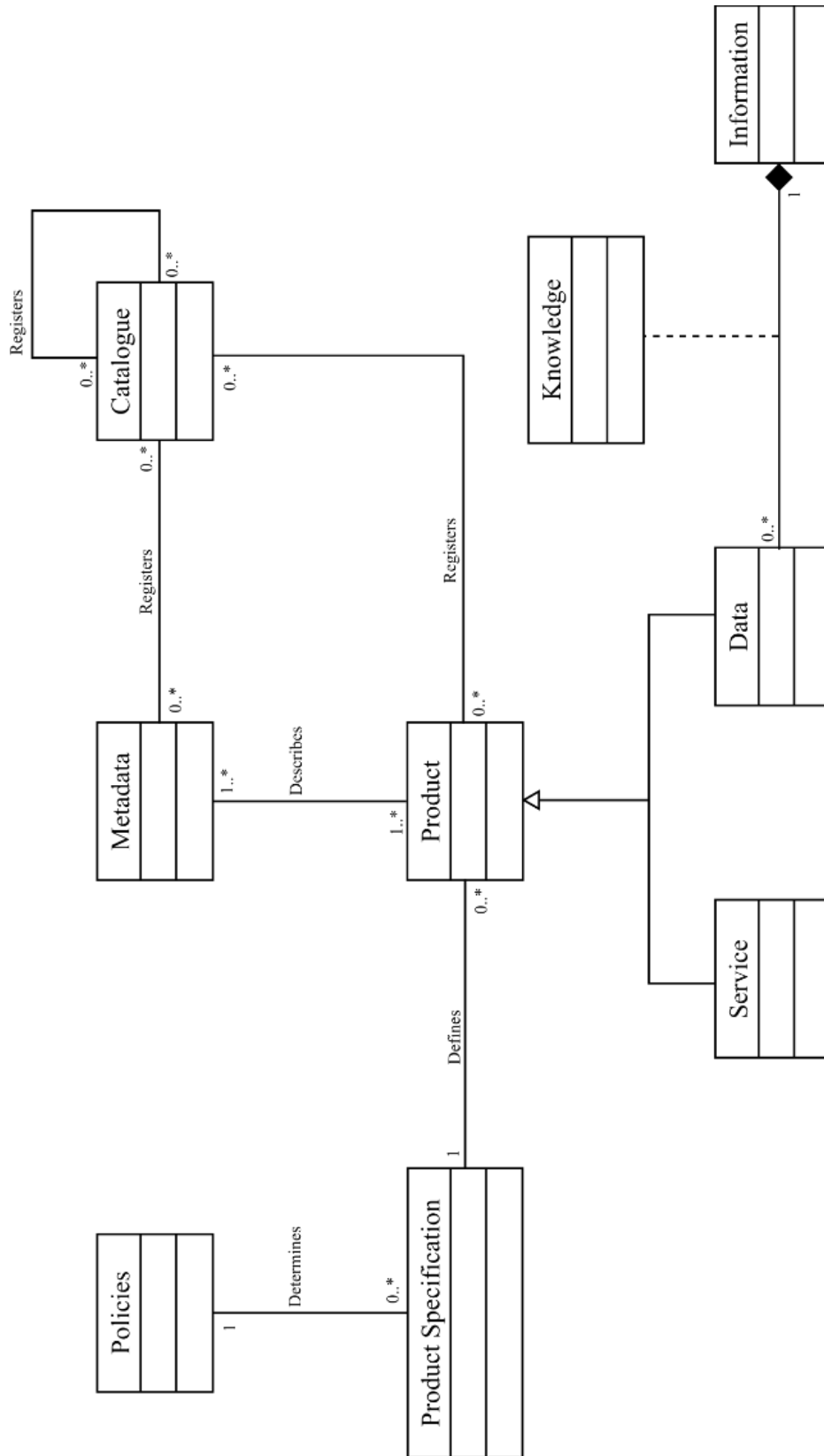


Figura 3.2: Diagrama de classes para a perspectiva Informação
Fonte Hjelmager et al. (2008)

3.3. Perspectiva Computação

Segundo Linington et al. (2011), a perspectiva Computação é responsável por modelar as funcionalidades básicas de uma aplicação, especificando os serviços que a aplicação oferece por meio de componentes e suas interfaces, sem se preocupar com a distribuição física destes componentes e quais tecnologias serão utilizadas para implementá-los. Para sua modelagem são utilizados objetos computacionais que encapsulam funcionalidades do sistema (Linington et al., 2011).

A Figura 3.3 representa a modelagem da perspectiva Computação da IDE-Cemig, representada por objetos computacionais (CV_Object), pacotes que agrupam esses objetos e suas interações. Os objetos computacionais foram agrupados em quatro grupos: Human_Objects, representando atores especificados na perspectiva Empresarial; Presentation_Objects, representando as interfaces utilizados por esses atores; Application_Objects, representando as funcionalidades oferecidas pela IDE-Cemig; e os Data_Management_Objects relacionada à perspectiva Informação, os quais fazem acesso ao banco de dados para fornecer, inserir e alterar os dados solicitados pelos objetos computacionais do grupo Application_Objects.

A perspectiva Computação oferece três funcionalidades a serem disponibilizadas pela IDE-Cemig por meio do pacote Application_Objects: Portrayal_SDI-Cemig, Data_SDI-Cemig e Catalogue_SDI-Cemig.

Portrayal_SDI-Cemig é responsável pelo fornecimento de uma representação gráfica, um mapa, representando os dados fornecidos ao componente. Data_SDI-Cemig disponibiliza funcionalidades no acesso e alterações com relação aos dados geoespaciais do sistema. Catalogue_SDI-Cemig possui a responsabilidade na recuperação e manipulação de catálogos geográficos da IDE-Cemig, os quais fornecem uma lista organizada em categorias sobre dados geoespaciais que podem ser consultados na base de dados.

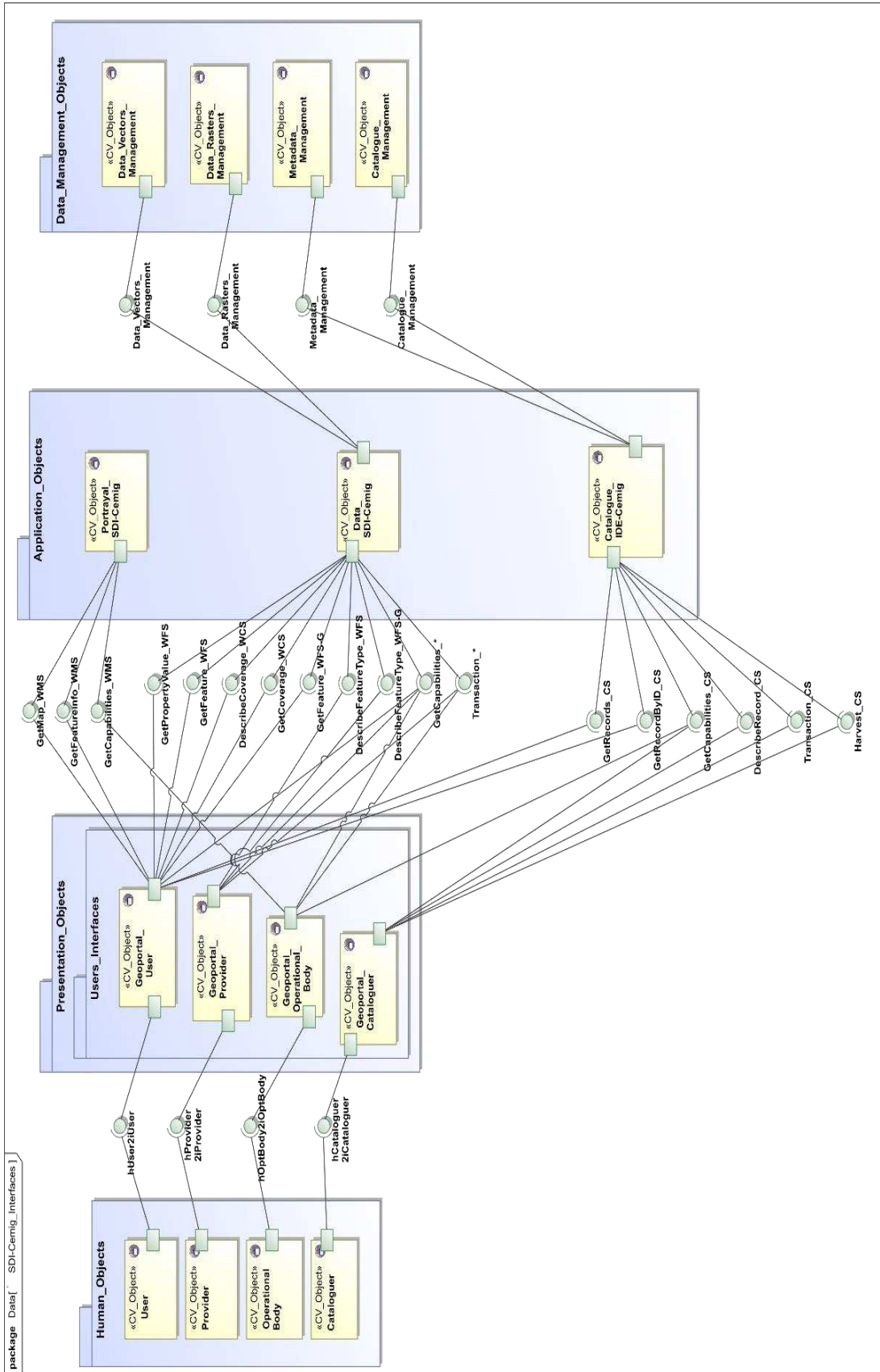


Figura 3.3: Visão detalhada de componentes da perspectiva Computação
Fonte: (OLIVEIRA et al., 2016b)

3.4. Relações entre perspectivas do RM-ODP

Essa seção trata das principais relações existentes entre as perspectivas elaboradas por OLIVEIRA (2015) e as perspectivas elaboradas nesse trabalho.

Embora o RM-ODP proponha uma modelagem que possa ser realizada por perspectivas de maneira independente, existem perspectivas que se relacionam de maneira mais estreita, na qual uma abordagem comparativa entre seus elementos é recomendada para enriquecimento da modelagem (PUTMAN, 2000).

Para uma exemplificação sobre relacionamentos entre componentes, essa seção ilustra figuras representando correspondências entre elementos de perspectivas distintas. Como uma representação de todas as correspondências entre elementos causaria uma sobrecarga de informações nos diagramas, optou-se por deixar algumas representações nas figuras e posteriormente uma exibição detalhada com o uso de tabelas.

A perspectiva Engenharia é construída com base na perspectiva Computação, provendo suporte para as interações e funcionalidades do sistema, descritas pela perspectiva Computação (LININGTON, 2011).

A figura 3.4 ilustra um recorte simplificado das perspectivas Computação e Engenharia. Na esquerda está representada a perspectiva Computação e na direita a perspectiva Engenharia. Em destaque são exibidas correspondências entre os elementos de perspectivas diferentes. Os objetos computacionais `GetMap_WMS`, `GetFeatureinfo_WMS` e `GetCapabilities_WMS` correspondem ao canal de comunicação `PortraitSDICemigChl`, provendo um meio de comunicação para a funcionalidade de geração de mapas. Também é possível observar a correspondência entre os elementos `GetPropertyValue_WMS`, `GetFeature_WFS`, `DescribeCoverage_WCS`, `DescribeFeatureType_WFS`, `DescribeFeatureType_WFS-G`, `GetFeature_WFS-G` e `GetCapabilities_*` com relação ao canal de comunicação `DataSDICemigChl`.

A Tabela 1 contém as principais correspondências entre BEOs e Canais de Comunicação, presentes na perspectiva Engenharia, com relação aos Objetos Computacionais e suas interfaces, descritos pela perspectiva Computação da IDE-Cemig.

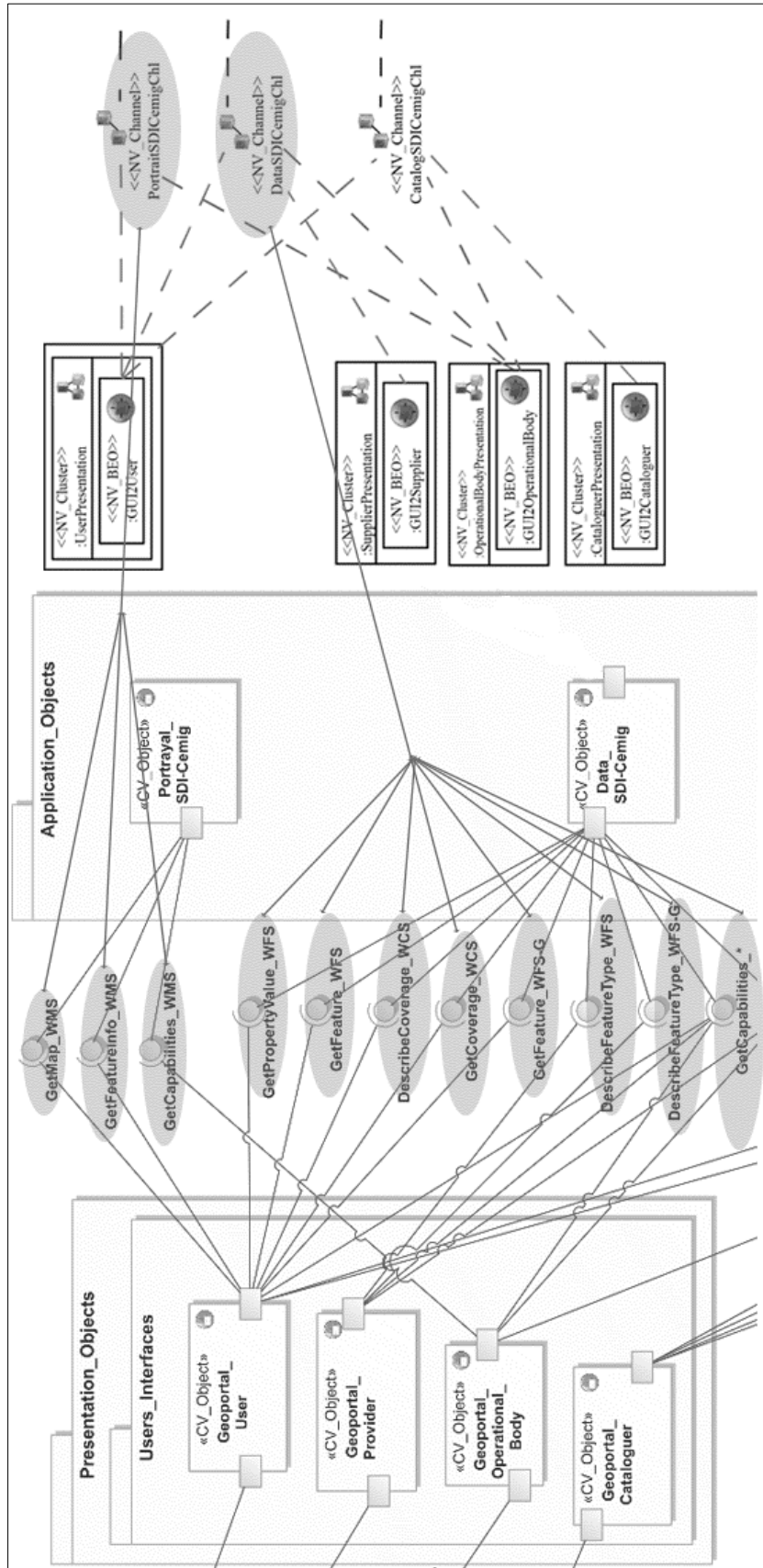


Figura 3.4: Relações entre as perspectivas Engenharia e Computação
Fonte: O autor (2016)

Tabela 1: Correspondências entre as perspectivas Engenharia e Computação

Fonte: O autor (2016)

Perspectiva Engenharia	Perspectiva Computação
AdministrationCapsule	GeoPortal_Cataloguer GeoPortal_Operational_Body GeoPortal_Provider,
ManagementCatalogCluster ManagementDataCluster ManagementDataCluster0	Data_Management_Objects
ManagementDataCluster	Data_Vectors_Management Data_Rasters_Management
CapsulePresentation	GeePortal_User
CatalogSDICemigChl	GetCapabilities_CS GetRecordbyID_CS GetRecords_CS GetRecords_CS, Harvest_CS Transaction_CS
DataSDICemigChl	GetPropertyValue_WFS DescribeCoverage_WCS GetCoverage_WCS GetFeature_WFS-G DescribeFeatureType_WFS DescribeFeatureType_WFS-G; GetCapabilities_* Transaction_*
ApplicationCluster	Catalogue_SDI-Cemig Data_SDI-Cemig Portrayal_SDI-Cemig
PortraitSDICemigChl	GetCapabilities_WMS GetFeatureinfo_WMS GetMap_WMS
Usuários do sistema	Possuem nomes correspondentes entre as perspectivas

Vale observar que os usuários do sistema e suas camadas de apresentação propostos nas perspectivas Engenharia, seguem a determinação de atores definidos pela perspectiva Empresarial. Os componentes da perspectiva Engenharia ManagementCatalogCluster e ManagementDataCluster responsáveis pelo tratamento da informação, correspondem a proposta da perspectiva Informação.

A perspectiva Tecnologia é construída com base na perspectiva Engenharia, provendo suporte a distribuição de componentes e sua comunicação (LININGTON, 2011).

A figura 3.5 ilustra uma representação simplificada das perspectivas Engenharia e Tecnologia. Na esquerda está representado a perspectiva Engenharia, e na direita a perspectiva Engenharia. Os clusters CataloguerPresentation, OperationalBodyPresentation e UserPresentation são representados pelo componente tecnológico PortalCemigServer, elemento que representa um servidor responsável por prover interações entre os usuários do sistema. Em relação a troca de informações entre componentes, os canais de comunicação PortraitSDICemigChl, DataSDICemigChl e CatalogSDICemigChl são representados pelo elemento tecnológico CemigLan. O componente CemigLan corresponde a uma rede LAN que provê um meio de comunicação físico na troca de informações, sendo adotado um padrão de comunicação descrito pelo Diagrama IXIT da perspectiva Tecnológica (Figura 2.2.8). A funcionalidade computacional PortraitSDICemigOps

Na Tabela 2 são descritas as correspondências entre objetos tecnológicos presentes na perspectiva Engenharia, com relação aos objetos tecnológicos descritos pela perspectiva Tecnologia da IDE-Cemig.

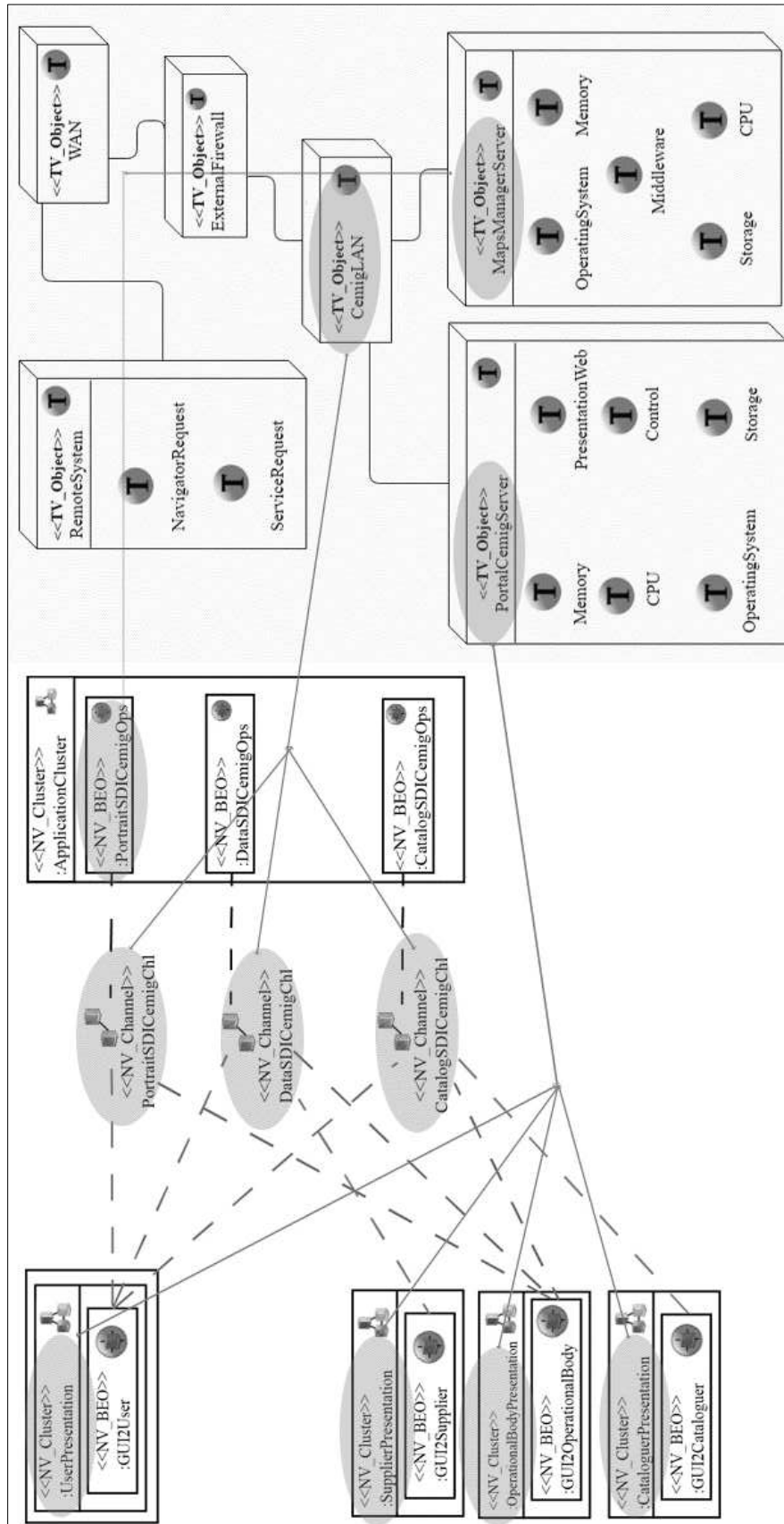


Figura 3.5: Relações entre as perspectivas Engenharia e Tecnologia
Fonte: O autor (2016)

Tabela 2: Correspondências entre as perspectivas Engenharia e Computação

Fonte: O autor (2016)

Perspectiva Tecnologia	Perspectiva Engenharia
CataloguerServer	CatalogSDICemigOps Catalogue_Management Metadata_Management
DataServer	Data_Rasters_Management Data_SDI-CemigOps Data_Vectors_Management ManagementDataCluster0
MapsManager	PortraitSDICemigoOPS
PortalCemigServer	AdministrationPresentation UserPresentation
RemoteSystem	Cataloguer Operational Body Supplier User
CemigLAN WAN	PortraitSDICemigChl, DataSDICemigChl CatalogSDICemigChl

Como o componente RemoteSystem, representa um usuário do sistema, portanto este componente corresponde aos atores definidos pela perspectiva Empresarial. Os elementos ExternalFirewall e InternalFirewall da perspectiva Tecnologia correspondem às políticas definidas pela empresa corporativa na perspectiva Empresarial. Os componentes CataloguerServer e DataServer correspondem aos elementos da Perspectiva Informação.

Como a perspectiva Tecnologia implementa as funcionalidades descritas pela perspectiva Computação, Putman (2000) recomenda que se estabeleça um comparativo entre essas perspectivas, atentando-se em qual objeto tecnológico irá implementar determinada funcionalidade. Na Figura 3.6, são ilustrados componentes tecnológicos atribuídos com suas funcionalidades respectivas na perspectiva Computação.

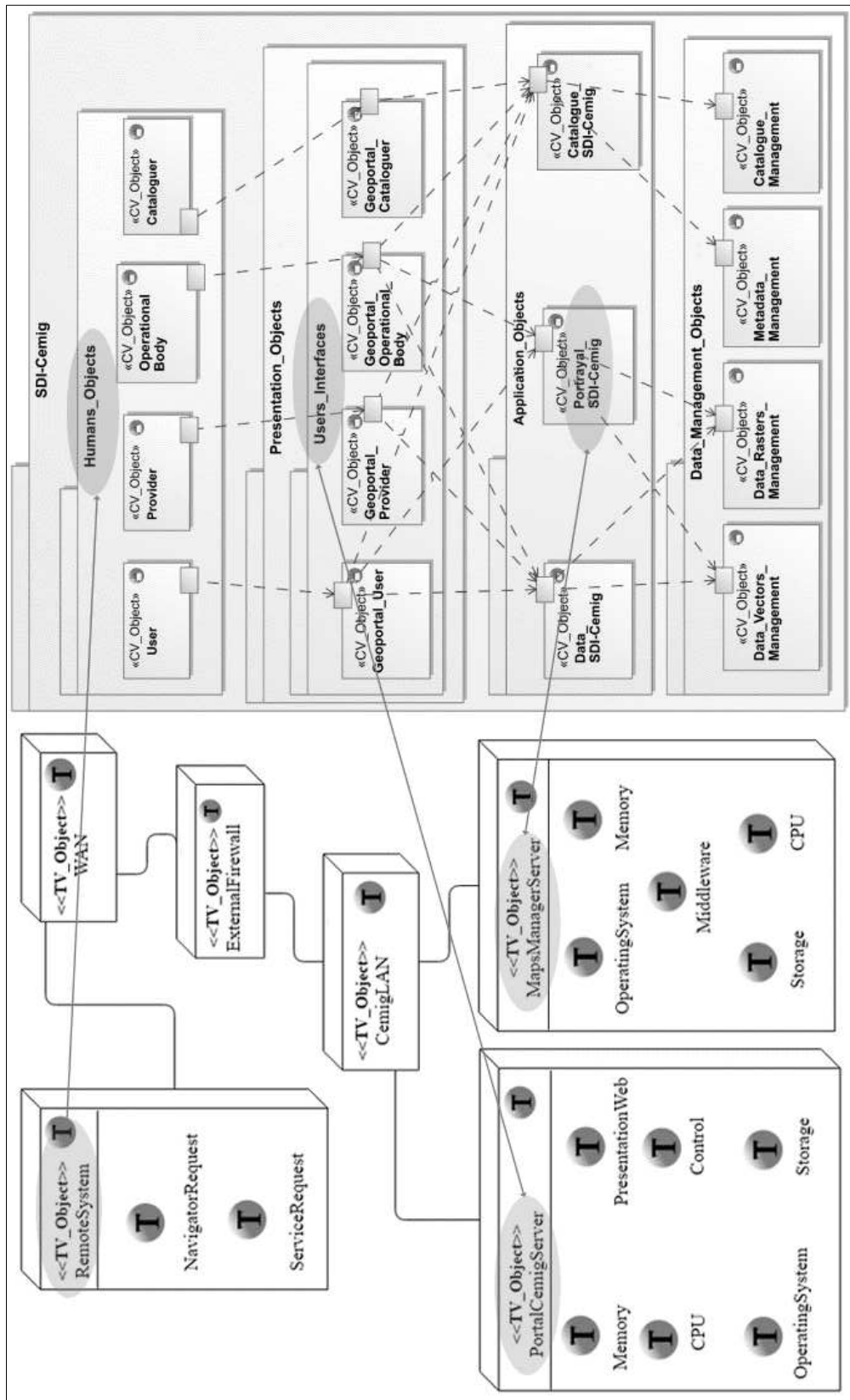


Figura 3.6: Relações entre as perspectivas Tecnologia e Computação
Fonte: O autor (2016)

O objeto tecnológico RemoteSystem, possui correspondência com Humans_Objects da perspectiva Computação, representando um usuário do sistema. PortalCemigServer corresponde as interfaces dos usuários representado pelo componente Users_Interfaces da perspectiva computação. O servidor MapsManagerServer corresponde a funcionalidade Portrait_SDI-Cemig responsável pela geração de mapas.

A Tabela 3 contém os Componentes Tecnológicos atribuídos com suas respectivas funcionalidades da perspectiva Computação.

Tabela 3: Correspondências entre as perspectivas Tecnologia e Computação

Fonte: O autor (2016)

Perspectiva Tecnologia	Perspectiva Computação
CataloguerServer	Catalogue_Management Metadata_Management
DataServer	Data_SDI-Cemig Data_Vectors_Management Data_Rasters_Management
MapsManagerServer	Portrayal_SDI-Cemig
PortalCemigServer	User_Interfaces
RemoteSystem	Cataloguer Operational Body Provider User

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego do modelo da ICA para IDEs permite que os componentes fundamentais de uma IDE sejam contemplados na fase de projeto, além de permitir um maior entendimento sobre os conceitos básicos, como a estrutura de uma IDE, quais serão seus usuários e quais papéis eles assumirão ao utilizar uma IDE, como as políticas afetarão o desenvolvimento da IDE e as funcionalidades disponibilizadas pelo sistema.

O modelo proposto para a IDE-Cemig por Oliveira (2015) contempla IDEs corporativas, especialmente ligadas ao setor elétrico. Como o modelo gerado não incorporava todas as perspectivas do RM-ODP, foi sugerido e deixado em aberto uma posterior construção dessas perspectivas restantes.

A especificação da perspectiva Engenharia, responsável pela distribuição de componentes e canais de comunicação, possui uma construção de maneira a possibilitar uma adaptação necessária à inclusão de novas funcionalidades e alterações. Ela é composta por nodos isolados estruturalmente que trabalham de forma independente. Portanto, uma falha em um componente não ocasiona diretamente falha em outro componente. No caso de reestruturação de um componente, os demais componentes não necessitam de adaptação, pois a comunicação é realizada utilizando canais e basta que a nova estrutura utilize a mesma estrutura de comunicação dos canais existentes. Com relação aos componentes, o sistema pode receber novas funcionalidades por meio da criação de novos objetos e canais de comunicação.

A perspectiva Tecnologia é composta por objetos tecnológicos representando desde componentes físicos a funcionalidades, os quais são organizados de forma independente e isolados entre si. Sua comunicação é realizada por meio de uma arquitetura orientada a serviços, pelo quais um objeto tecnológico requisita um pedido a outro componente usando uma interface de comunicação em comum. Com isso, a troca de um componente com determinada tecnologia por outro componente de outra tecnologia não causa impacto significativo na IDE.

As tecnologias sugeridas para os objetos tecnológicos, juntamente com suas versões e requisitos mínimos, servem de referência para uma implementação, não havendo nenhuma restrição caso uma empresa queira realizar sua troca por outra tecnologia, ou mesmo versões diferentes, observando apenas as restrições incluídas no diagrama de Componentes Tecnológicos e IXIT.

Caso se queira realizar alterações, como a troca de uma tecnologia por outra, o modelo constituído de módulos permite sua alteração desde que a nova tecnologia atenda aos requisitos

necessários descritos na perspectiva. O uso de módulos independentes possibilita a inclusão de novas funcionalidades no sistema, pois novos componentes podem ser adicionados sem alterações significativas no projeto.

As especificações das perspectivas Engenharia e Tecnologia foram baseadas no modelo formal proposto pela ICA para IDEs, modelo no qual são definidos elementos básicos necessários na composição de uma IDE. A IDE-Cemig possui agora um modelo que contempla todas as cinco perspectivas do RM-ODP, permitindo que o modelo seja consultado e utilizado como um conjunto completo. A especificação completa da IDE-Cemig seguindo o RM-ODP permite uma visão geral e especializada de uma modelagem sobre IDEs.

Uma corporação pode utilizar o modelo da IDE-Cemig como referência para a elaboração de sua própria IDE. Caso a corporação deseje adicionar uma funcionalidade ou modificar alguma existente, o modelo da IDE-Cemig possui uma construção que permite que sejam realizadas alterações sem ocasionar modificações em sua estrutura.

Como trabalhos futuros, o modelo de IDE da ICA ainda não possui funcionalidades sobre colaboração voluntária. Com a tendência de dados espaciais serem produzidos voluntariamente pelos próprios usuários, esta é uma funcionalidade importante a ser pesquisada e inserida nas cinco perspectivas do modelo de IDE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C. M. S.; SANTOS, P. L. V. A. C. Acesso à informação geográfica: reflexões sobre a importância das infraestruturas de dados espaciais (IDE) nas políticas públicas. **Liinc em Revista**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 488-501, 2013.
- ALVES, A.; OLIVEIRA, F. B.; GAMERO; PERES C. et al. **Plano de implantação da Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE**. Viçosa: Relatório técnico do PPGCC do Departamento de Informática, 2016. 35 p.
- BÉJAR, R.; LATRE, M. Á.; NOGUERAS-ISO, J.; MURO-MEDRANO, P. R.; ZARAZAGA-SORIA, F. J. An RM-ODP Enterprise view for Spatial Data Infrastructure. **Computer Standards & Interfaces**, [S.l.], v. 34, n. 2, p. 263-272, 2012.
- BRASIL, M. P. O. E. G. **Plano de ação para implantação da INDE**: Infraestrutura nacional de dados espaciais. [S.l.] Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), 2010.
- BECERRA, J. L.; GARCIA-JR, E.; TANOMARU, N.; MORAES, D. N. et al. Arquitetura de um middleware corporativo na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista. In: CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 7, 2002, São Paulo, Brasil. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2002.
- CARPENTER, J.; SNELL J. **Future trends in geospatial information management**: The five to ten-year vision. Southampton: Ordnance Survey, 2013. 40 p.
- CEMIG, **Mémoria Cemig**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/default.aspx>. Acesso em 10 de ago. 2016.
- COOPER, A. K. K.; RAPANT, P.; HJELMAGER, J.; LAURENT, D.; IWANIAK, A.; COETZEE, S.; MOELLERING, H.; DÜREN, U. A Spatial Data Infrastructure model from the Computational viewpoint. **International Journal of Geographical Information Science**, [S.l.], v. 27, n. 6, p. 1133-1151, 2013.
- COOPER, A. K.; MOELLERING, H.; HJELMAGER, J.; RAPANT, P.; DELGADO, T.; LAURENT, D.; COETZEE, S.; DANKO, D. M.; DÜREN, U.; IWANIAK, A.; BRODEUR, J.; ABAD, P.; HUET, M.; RAJABIFARD, A. extending the formal model of a Spatial Data Infrastructure to include volunteered geographical information. In: International Cartographic Conference (ICC), 25, 2011, Paris. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2011.
- EGYHAZY, C.; MUKHERJIR. Interoperability architecture using RM-ODP. **Communications of ACM**, New York, vol.47, n. 2, p. 93-97, 2004.
- ELLIS, R. A.; LUBBERS, C. E.; MALAN, S. J.; RIVERA, P.; SNYDER, S.; THIEL, D. W.; WELLS, R. B. **Method and apparatus for preserving data integrity in a multiple disk raid organized storage system**. US Pat. 5,504,858.1996. 5 p.
- FAROOQUI, K.; LOGRIPPO, L.; DE MEER, J. The ISO Reference Model for Open Distributed Processing: an introduction. **Computer Networks and ISDN Systems**, [S.l.], v. 27, n. 8, p. 1215-1229, 1995.

- FIELDING, R. T. **Architectural styles and the design of network-based software architectures**. Tese (Doutorado em Ciência da Computação), University of California, Irvine, 2000.
- FONSECA, F. J. B. **Uma visão arquitetural com uso de software livre para a Infraestrutura Nacional De Dados Espaciais**. Tese (Mestrado em Ciência da Computação), Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - PPPGCC, Universidade Federal de Viçosa, 2016.
- HARVEY, F.; IWANIAK, A.; COETZEE, S.; COOPER, A. K. SDI past, present and future: a review and status assessment. **Industry and Citizens**, Needham, v. 1, n. 21, p. 23-38, 2012.
- HJELMAGER, J.; MOELLERING, H.; COOPER, A. K. et al. An initial formal model for Spatial Data Infrastructure. **International Journal of Geographic Information Science**, [S.l.], v. 22, n. 11-12, p. 1295-1309, 2008.
- ISO/IEC 10746-3:2009(E). **Information technology Open Distributed Processing Reference Model: Architecture**. Montréal, Québec: International Telecommunication Union, 2009. 54 p.
- ITU-T Rec. X.906. **Information technology Open Distributed Processing: use of UML for ODP system specifications**. Geneva: International Telecommunication Union, 2007. 150 p.
- JHUMMARWALA, A.; POTDAR, M.; CHAUHAN, P. Parallel and distributed GIS for processing geo-data: Na overview. **International Journal of Computer Applications**, New York, v. 106, n. 16, p. 9-16, 2014.
- LININGTON, P. F.; MILOSEVIC, Z.; TANAKA, A.; VALLECILO, A. **Building enterprise systems with ODP: An Introduction to Open Distributed Processing**. Boca Raton: CRC Press, 2011. 247 p.
- OLIVEIRA, I. L.; LISBOA-FILHO, J.; MOURA, C. A.; SILVA, A. G. Specifying the Enterprise and Information viewpoints for a corporate spatial data Infrastructure using ICA's formal model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS (ICEIS), 18, 2016a, Roma. **Proceedings...** Lisboa: SCITEPRESS, 2016, vol.1, p. 271-282.
- OLIVEIRA, I. L.; LISBOA-FILHO, J.; MOURA, C. A.; SILVA, A. G. Specifying the Computation viewpoints for a corporate Spatial Data Infrastructure using ICA's formal model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL SCIENCE AND ITS APPLICATIONS (ICCSA), 2016b, Beijing, China. **Proceedings...** Berlin Heidelberg: Springer-Verlag LNCS 9788 - Part III, 2016. p. 275-289.
- OLIVEIRA, I. L. **Adequação do modelo formal da Associação Cartográfica Internacional e sua avaliação no desenvolvimento de Infraestruturas de Dados Espaciais corporativas: Estudo de Caso Ide-Cemig**. Tese (Mestrado em Ciência da Computação), Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - PPPGCC, Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- PUTMAN, J. R. **Open distribution software architecture using RM-ODP**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2000. 834 p.

- RAJABIFARD, A.; WILLIAMSON, I. P. Hierarchical spatial reasoning: applied to Spatial Data Infrastructures, **Cartography Journal**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 41-50, 2000.
- RAYMOND, K. Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP): introduction. **Computer Standards & Interfaces**, Amsterdam, v. 35, n. 3, p. 3-14, 1998.
- TORRES, R. M.; OLIVEIRA, I. L.; LISBOA-FILHO, J.; MOURA, C. A.; SILVA, A. G. Specifying the engineering perspective of ICA's formal model in a corporate spatial data infrastructure. In: International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, 9. 2016. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. No prelo.
- WNUK, K.; RUNESON, P.; LANTZ, M.; WEIJDEN, O. Bridges and barriers to hardware-dependent software ecosystem participation – a case study. **Information and Software Technology**, v. 56 n. 11. p. 1493–1507, 2014.