

**Universidade Federal do Amazonas**  
Instituto de Computação  
Programa de Pós-Graduação em Informática

Andréa Corrêa Flôres Albuquerque

Um *Framework* Conceitual para Integrar  
Conhecimento Tácito Científico

Manaus  
Julho de 2016

Andréa Corrêa Flôres Albuquerque

---

# Um *Framework* Conceitual para Integrar Conhecimento Tácito Científico

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Informática do Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Informática.

Orientador: Alberto Nogueira de Castro Júnior, Ph.D.

Co-Orientador: José Laurindo Campos dos Santos, Ph.D.

Manaus  
Julho de 2016

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

A345u Albuquerque, Andréa Corrêa Flôres  
Um framework conceitual para integrar conhecimento tácito científico / Andréa Corrêa Flôres Albuquerque. 2016  
178 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Alberto Nogueira de Castro Júnior  
Coorientador: José Laurindo Campos dos Santos  
Tese (Doutorado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Ontologia. 2. Representação de Conhecimento. 3. Conhecimento Tácito. 4. Gestão do Conhecimento. 5. Biodiversidade. I. Castro Júnior, Alberto Nogueira de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



## **Universidade Federal do Amazonas**

Instituto de Computação  
Programa de Pós-Graduação em Informática

### **FOLHA DE APROVAÇÃO**

# *Um Framework* Conceitual para Integrar Conhecimento Tácito Científico

**ANDRÉA CORRÊA FLÔRES ALBUQUERQUE**

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora constituída por:

Prof. Alberto Nogueira de Castro Júnior, Ph.D. – Orientador  
PPGI – IComp - UFAM

Prof. José Laurindo Campos dos Santos, Ph.D. – Co-Orientador  
LIS – NBGI - INPA

Prof. Thaís Helena Chaves de Castro, D.Sc.  
PPGI – IComp - UFAM

Prof. Edilson Ferneda, Ph.D.  
Universidade Católica de Brasília (UCB)

Prof. Fernando William Cruz, D.Sc.  
Faculdade de Engenharia, Universidade de Brasília (UnB)

Manaus, Julho de 2016

*Ao Nome que está acima de todos os nomes.*

## **AGRADECIMENTOS**

Obrigada à Deus, à minha família, aos doutores envolvidos nesta pesquisa e aos amigos!

Agradecimentos ainda à FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas), concessão 021/2011 062.03101/2012-DO e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) concessão 486333/2011-6 pelo apoio a esta pesquisa.

Agradecimentos também são devidos ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, pela infra-estrutura do Laboratório de Interoperabilidade Semântica, onde esta pesquisa foi desenvolvida, bem como ao Grupo de Sistemas Inteligentes (GSI), do Instituto de Computação (IComp)/UFAM, associado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas, e aos muitos colaboradores, dentro e fora deste projeto, que estimularam e permitiram o desenvolvimento desta abordagem.

# Um *Framework* Conceitual para Integrar Conhecimento Tácito Científico

*Andréa Corrêa Flôres Albuquerque*

**Doutorado em Informática**  
**Universidade Federal do Amazonas**

**Resumo:** Durante o desenvolvimento da OntoBio, uma ontologia formal de biodiversidade, observou-se que muito do conhecimento do especialista, que não estava contido nas bases de dados estruturadas e que tornam a ontologia mais expressiva (conhecimento tácito), não era representado, e com isso ignorado. Evidências empíricas indicam que este conhecimento é essencial para auxiliar na geração de novos conhecimentos científicos e conseqüentemente, nos processos de tomada de decisão. Neste ambiente de intensa conectividade, onde a disponibilidade de dados é massiva, a utilização de ontologias é uma solução recomendada, por permitir a aquisição/geração de conhecimento. Questões mais específicas, como a representação do conhecimento científico tácito, ainda não estão satisfatoriamente elucidadas. Para contribuir com soluções para tais questões, faz-se necessário investigar aspectos críticos de aquisição e representação do conhecimento, modelagem e formalização de conhecimento tácito, e considerar diferentes pontos de vista sobre o domínio. Esta pesquisa propõe um método para agregar conhecimento tácito à ontologias formais, incorporando semântica e expressividade para apoiar a geração de conhecimento científico. O método compreende o processo de elicitacão e formalização do conhecimento científico tácito de biodiversidade, e a integração deste conhecimento à estrutura descrita na OntoBio.

**Palavras-Chave:** Ontologia, Modelagem de Conhecimento, Representação de Conhecimento, Conhecimento Tácito, Gestão do Conhecimento, Inteligência Artificial, Biodiversidade.

# **A Conceptual Framework for Integrating Cientific Tacit Knowledge**

*Andréa Corrêa Flôres Albuquerque*

**Doctorate Degree in Informatics  
Universidade Federal do Amazonas**

**Abstract:** During the development of OntoBio, a formal biodiversity ontology, it was observed that much of the knowledge of the expert, which was not included in the structured databases and allow ontology to be more expressive (tacit knowledge), was not represented, and thus ignored. Empirical evidences indicate that this knowledge is essential to help in generating knew scientific knowledge and consequently in the decision making process. In this highly connected environment, where data availability is massive, the use of ontologies is a recommended solution for allowing knowledge acquisition/generation. More specific issues such as representation of tacit scientific knowledge, are not satisfactorily elucidated. In order to contribute with solutions for such questions, it is necessary to investigate critical aspects of knowledge representation, modelling and formalization of tacit knowledge, and also to consider different views on the domain. This research proposes a method to agregate tacit knowledge to formal ontologies, incorporating semantic and expressivity to support generation of scientific knowledge. The method comprises the process of elicitation and formalization of scientific tacit knowledge of biodiversity, and the integration of this knowledge to the structure described in OntoBio.

**Keywords:** Ontology, Knowledge Modelling, Knowledge Representation, Tacit Knowledge, Knowledge Management, Artificial Intelligence, Biodiversity.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES.....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Contextualização do Problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Motivação e Justificativa.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Hipótese e Questões de Pesquisa .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Objetivo .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5 Abordagem Metodológica .....</b>	<b>11</b>
<b>1.6 Contribuições Científicas .....</b>	<b>12</b>
<b>1.7 Organização da Tese .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Revisão da Literatura .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Conhecimento.....	17
A - Conhecimento Explícito .....	18
B - Conhecimento Tácito .....	18
2.1.2 Estudo de Caso .....	19
2.1.3 Biodiversidade .....	20
A Complexidade dos Dados de Biodiversidade e o Conhecimento Tácito do Especialista	21
2.1.4 Gestão do Conhecimento (GC) .....	22
A - O Conhecimento Científico .....	24
2.1.5 Aquisição do Conhecimento (AC).....	25
A - Técnicas de Aquisição de Conhecimento .....	27
B - Elicitação do Conhecimento (EC).....	27
2.1.6 Representação do Conhecimento (RC) .....	28
2.1.7 Ontologias .....	30
A - Componentes.....	32
B - Características.....	33
C - Classificação .....	33
D - Formalismo.....	34
E - Aplicabilidade.....	34
F - Problemas no Uso de Ontologias .....	35
2.1.8 OntoBio, uma Ontologia de Domínio de Biodiversidade .....	36
<b>2.2 Referencial Teórico.....</b>	<b>38</b>

2.2.1	Elicitação do Conhecimento .....	38
A	Elicitação do Conhecimento na Aquisição do Conhecimento.....	40
B	O Especialista e seu Conhecimento .....	43
C	Taxonomia de Métodos para Elicitação de Conhecimento Tácito.....	46
D	Critérios para Seleção de Métodos para Elicitação de Conhecimento.....	48
E	Entrevista.....	50
E1	Classificação da Entrevista Segundo sua Estrutura.....	51
2.2.2	Formalização do Conhecimento.....	52
A	Esquema Progressivo de Formalização - EPF .....	53
A1	Trabalhos Relacionados ao EPF .....	56
2.2.3	Correspondência entre Ontologias .....	57
2.2.4	Evolução de Ontologia .....	60
 <b>CAPÍTULO 3 – UM FRAMEWORK CONCEITUAL PARA INTEGRAÇÃO DE CONHECIMENTO CIENTÍFICO .....</b>		<b>62</b>
3.1	<b>Modelagem de Conhecimento: OntoBio para Integração de Dados Biológicos</b>	<b>62</b>
3.2	<b>A OntoBio Revisitada .....</b>	<b>65</b>
3.3	<b>Framework Conceitual para Integração de Conhecimento .....</b>	<b>68</b>
3.4	<b>Vantagens do Uso do Framework Conceitual .....</b>	<b>71</b>
 <b>CAPÍTULO 4 – ELICITAÇÃO DE CONHECIMENTO CIENTÍFICO TÁCITO (E1) .....</b>		<b>74</b>
4.1	<b>Aplicação de Entrevistas pelo Analista .....</b>	<b>74</b>
4.1.1	Resultados da Elicitação: Modelos Mentais .....	76
4.1.2	Ferramentas para Geração dos Mapas Conceituais dos MMEs.....	79
4.2	<b>Gestão do Conhecimento Elicitado .....</b>	<b>83</b>
4.2.1	Arquitetura para Uso de Repositórios e Bibliotecas Digitais no Framework Conceitual.....	86
 <b>CAPÍTULO 5 – FORMALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO ELICITADO (E2) .....</b>		<b>88</b>
5.1	<b>Formalização dos MMEs (E2).....</b>	<b>88</b>
5.2	<b>Representação dos MMEs em Lógica de Primeira Ordem .....</b>	<b>89</b>
5.3	<b>Representação dos MMEs em OntoUML.....</b>	<b>92</b>
5.4	<b>Representação dos MMEs em OWL.....</b>	<b>93</b>
 <b>CAPÍTULO 6 – FLUXO DE COMPOSIÇÃO DO CONHECIMENTO FORMALIZADO (E3), RECOMENDAÇÕES PARA EVOLUÇÃO DA ONTOLOGIA (E4) E AVALIAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES PARA EVOLUÇÃO (E5).....</b>		<b>97</b>
6.1	<b>Composição das BCEs e OntoBio (E3) .....</b>	<b>97</b>
6.1.1	Correspondência entre Ontologias no Contexto do Framework Conceitual para Integração de Conhecimento.....	97
6.2	<b>Processo de Evolução da OntoBio (E4).....</b>	<b>99</b>

6.2.1	Estratégia de Evolução de Ontologias no Contexto do Framework Conceitual .....	100
<b>6.3</b>	<b>Avaliação dos ECFs (E5) .....</b>	<b>101</b>
<b>CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DO <i>FRAMEWORK</i> CONCEITUAL PARA INTEGRAÇÃO DE</b>		
<b>CONHECIMENTO TÁCITO .....</b>		
	<b>7.1 Prova de Conceito .....</b>	<b>105</b>
7.1.1	Prova de Conceito A .....	105
7.1.2	Prova de Conceito B .....	107
7.1.3	Prova de Conceito C .....	109
<b>7.2</b>	<b>Algumas Considerações de Implementação .....</b>	<b>112</b>
<b>CAPÍTULO 8- CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>		
	<b>8.1 Relatos da Investigação .....</b>	<b>114</b>
	<b>8.2 Resultados Alcançados.....</b>	<b>115</b>
	<b>8.3 Considerações Sobre a Pesquisa Apresentada .....</b>	<b>115</b>
	<b>8.4 Trabalhos Futuros .....</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		
	<b>APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES RESULTANTES DA PESQUISA.....</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICE B – ESQUEMA CONCEITUAL DA ONTOBIO COMPLETO .....</b>	<b>139</b>
	<b>APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DOS MODELOS MENTAIS ELICITADOS E TRATADOS EM</b>	
	<b><i>E1</i> .....</b>	<b>140</b>
	<b>APÊNDICE D – REPRESENTAÇÃO EM ONTOUML DO MM3A .....</b>	<b>142</b>
	<b>APÊNDICE E – REPRESENTAÇÃO EM OWL DO MME3A.....</b>	<b>143</b>
	<b>APÊNDICE F – RECOMENDAÇÕES DE MUDANÇA APÓS APLICAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i></b>	
	<b>CONCEITUAL NA ONTOBIO .....</b>	<b>161</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Fontes de dados sobre biodiversidade. Fonte: (SERIQUE, 2014). .....	6
<b>Figura 2</b> - Contextualização do problema e a solução proposta. ....	9
<b>Figura 3</b> – Organização dos capítulos da tese. ....	14
<b>Figura 4</b> - Mapa conceitual da revisão bibliográfica. ....	16
<b>Figura 5</b> - Tipos de ontologias segundo seu nível de dependência em relação à uma tarefa ou ponto de vista particular. Fonte: traduzido de (GUARINO, 1998). ....	34
<b>Figura 6</b> - Esquema simplificado da ontologia de biodiversidade, OntoBio. ....	37
<b>Figura 7</b> - Taxonomia das técnicas de elicitación do conhecimento. Fonte: traduzido de (GAVRILOVA e ANDREEVA, 2012). ....	47
<b>Figura 8</b> - Possíveis representações do conhecimento do EPF. Fonte: adaptado de (BAUMEISTER et al., 2011). ..	54
<b>Figura 9</b> – Exemplo esquemático de correspondência entre ontologias. ....	59
<b>Figura 10</b> - Regra em forma de axioma da OntoBio (ALBUQUERQUE, 2011). ....	64
<b>Figura 11</b> - Esquema simplificado da nova versão da OntoBio. ....	65
<b>Figura 12</b> - Modelo proposto para elicitación de conhecimento. ....	70
<b>Figura 13</b> - Esquema de input e output do framework conceitual. ....	72
<b>Figura 14</b> - Exemplo de esquema de elicitación de um MME de ictiologia. ....	77
<b>Figura 15a</b> - MME1 a 6 elicitados e representados em forma de mapas conceituais. ....	80
<b>Figura 15b</b> – MME7a a 9 elicitados e representados em forma de mapas conceituais. ....	81
<b>Figura 15c</b> - MME10 a 11b elicitados e representados em forma de mapas conceituais. ....	81
<b>Figura 15d</b> - MME12 a 13b elicitados e representados em forma de mapas conceituais. ....	82
<b>Figura 15e</b> - MME14a a 14b elicitados e representados em forma de mapas conceituais. ....	82
<b>Figura 16</b> - Arquitetura de repositórios e bibliotecas digitais sugerida para gerência de registros da elicitación de conhecimento. ....	86
<b>Figura 17</b> - Modelo de EPF utilizado no estudo de caso da OntoBio. ....	89
<b>Figura 18</b> - EPF do MM3a, considerando jauari como isca. ....	94
<b>Figura 19</b> – EPF do MM3b, considerando jauari como alimento. ....	95
<b>Figura 20</b> - Esquema simplificado da composição das BCEs e OntoBio. ....	99
<b>Figura 21</b> - Uma abordagem para evolução de uma ontologia de domínio. ....	101
<b>Figura 22</b> - Ilustração do fluxo para avaliação do framework. ....	102
<b>Figura 23</b> - Novo conceito identificado a partir da composição das ontologias com base no MM2. ....	106
<b>Figura 24</b> – Recomendações para evolução da OntoBio com base no MM2. ....	106
<b>Figura 25</b> - Novos conceitos identificados a partir da composição das ontologias com base no MM3. ....	108
<b>Figura 26</b> - Recomendações para evolução da OntoBio com base no MM3. ....	109
<b>Figura 27</b> - Novos conceitos identificados a partir da composição das ontologias com base no MM14. ....	110
<b>Figura 28</b> - Recomendações para evolução da OntoBio com base no MM14. ....	111

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABCD	Access Biological Collections Data
AC	Aquisição do Conhecimento
BC	Base de Conhecimento
BCE	Base de Conhecimento Especialista Individual Formal
BD	Banco de Dados
BDE	Base de Dados de Biodiversidade Estruturada
BDI	Base de Dados Integrada
BioCASE	The Biological Collection Access Service for Europe
BIOTA-FAPESP	Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo
CBR	Raciocínios Baseados em Casos
CE	Comércio Eletrônico
CENBAM	Centro de Estudos Integrados da Biodiversidade Amazônica
CERN	European Organization for Nuclear Research - Organização Européia para Pesquisa Nuclear
CLTES	Conceptual Landscape of Technology-Enabled Science
CML	Conceptual Modelling Language
CPPO	Cálculo Predicado de Primeira Ordem
CRIA	Centro de Referência em Informação Ambiental
CS	Collaboration Session
CSCW	Computer-Supported Colaborative Work
CSV	Comma-Separated Values file
DCC	Departamento de Ciência da Computação
DES	Dados Expressivos Semanticamente
DIGIR	Distributed Generic Information Retrieval
EC	Elicitação do Conhecimento
ECF	Esquema de Conceitualização Bem Fundamentado

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EML	Ecological Metadata Language
EPF	Esquema Progressivo de Formalização
FI	Ferramenta Inteligente
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GC	Gestão do Conhecimento
GCC	Gestão do Conhecimento Científico
GGCC	Grupo de Gestão do Conhecimento Científico
GQM	Goal, Question and Metric
GSD	Grid Shared Desktop
GSI	Grupo de Sistemas Inteligentes
HTML	Hipertext Markup Language
HTTP	Hipertext Transfer Protocol
IA	Inteligência Artificial
IATECAM	Instituto Ambiental e Tecnológico da Amazônia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICBP	International Council for the Protection of Birds
IComp	Instituto de Computação
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ILTER	International Long Term Ecological Research
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
IPT	Integrated Publishing Toolkit
KBS	Knowledge Based System
KIF	Knowledge Interchange Format
KMS	Knowledge Management System
KNB	Knowledge Network for Biocomplexity
LBA	Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
LIS	Laboratório de Interoperabilidade Semântica
LME	LBA Metadata Editor
LOD	Linked Open Data

LPO	Lógica de Primeira Ordem
MCTI	Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação
MME	Modelo Mental do Especialista
MO	Memória Organizacional
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
NBGI	Núcleo de BioGeoInformática
NEMO	Núcleo de Estudos em Modelagem Conceitual e Ontologias
NLP	Programação Neurolinguística
OAEI	Ontology Alignment Evaluation Initiative
OLED	OntoUML Lightweight Editor
OWL	Web Ontology Language
PCT	Personal Construct Theory
PPBio	Programa de Pesquisa em Biodiversidade
PPGI	Programa de Pós-Graduação em Informática
PROBEM	Programa Brasileiro de Ecologia Molecular
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
RC	Representação do Conhecimento
RDF	Resource Description Framework
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SABIO	Systematic Approach for Building Ontologies
SBC	Sistema Baseado em Conhecimento
SBC	Sociedade Brasileira de Computação
SE	Sistema Especialista
SEPED	Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGC	Sistema de Gestão do Conhecimento
SiBBR	Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
STI	Sistema de Tecnologia da Informação
SWRL	Semantic Web Rule Language

TAMBIS	Transparent Access to Multiple Bioinformatics Information Sources
TAPIR	TDWG Access Protocol for Information Retrieval
TEC	Técnica de Elicitação do Conhecimento
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação de Dados
UCB	Universidade Católica de Brasília
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFO	Unified Foundational Ontology
UML	Unified Modeling Language
UNB	Universidade Nacional de Brasília
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
USCS	Unified Soil Classification System
VC	Virtual Community
WS	Web Semântica
WWF	World Wide Fund for Nature
WWW	World Wide Web
W3C	World Wide Web Consortium
XML	Extensible Markup Language
XMI	XML Metadata Interchange

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

*Neste capítulo são apresentados o contexto e a descrição do problema, objeto central do estudo, e as questões motivadoras da pesquisa assim como as respectivas justificativas. São também apresentados a hipótese e questões de pesquisa, os objetivos, a abordagem metodológica adotada, contribuições científicas e a organização da tese.*

## 1.1 Contextualização do Problema

A compreensão e aceitação do fato de que o conhecimento é elemento transformador de uma sociedade, levou as organizações à elaboração de estratégias de competitividade claramente dependentes do conhecimento e da forma de seu compartilhamento no ambiente institucional para atender sua missão. Segundo MICKLETHWAIT e WOOLDRIDGE (1998), o sucesso de uma instituição está associada à eficiência da forma de detenção do conhecimento e de sua gestão, ou seja, do processo de aquisição, disseminação e preservação.

O impacto positivo causado pela Computação promoveu uma revolução na pesquisa científica, sendo esta hoje nomeada como o “terceiro pilar”, junto com os pilares da teoria e da experimentação (PITAC, 2005). Com tão importante função, a Computação se apresenta como partícipe fundamental nos avanços em quase todas as áreas do conhecimento humano. Tais participações acontecem como novo elemento no modelo de interação entre as ciências, abrangendo todo seu escopo, aferidas pela Tecnologia da Informação (TI).

Outro fator relevante é o reconhecimento da importância de trabalhos interdisciplinares que contam com a participação de cientistas da Computação, que detêm desde sua formação, múltiplas *expertises* (perícia humana) que extrapolam a visão científica, considerando outros olhares, por exemplo, a visão cultural. Com essa amplitude, a Computação torna-se essencial para projetos econômicos, tecnológicos e sociais de uma sociedade.

A Sociedade Brasileira da Computação (SBC), em suas atribuições, buscou definir grandes desafios de pesquisa para a ciência e conseqüentemente para os interesses estratégicos do Brasil. Entre os desafios, ressalta-se o interesse deste projeto de pesquisa que contempla em seu escopo, contribuir com soluções técnicas e científicas referentes a gestão da informação oriunda de grandes volumes de dados multimídia distribuídos e da modelagem computacional

de sistemas complexos artificiais, naturais e sócio-culturais e da interação homem natureza (SBC, 2006).

Observa-se um crescimento exponencial da quantidade de dados, sendo a Internet o veículo com a maior responsabilidade deste feito, uma vez que congrega grandes provedores de conteúdo heterogêneo, distribuído, fortalecendo o conceito de um banco de dados universal. Um segundo fator, também considerado crítico, é o surgimento de tecnologia para coleta automática ou semi-automática, adotadas na aquisição de dados de características complexas (i.e., dados climáticos), tendo seu volume estimado na ordem de Petabyte (MULLER et al., 2013). Entretanto, o processo de gerenciamento de dados de forma geral, não raro, é realizado sem a participação de especialistas em gestão da informação, incluindo gestores de dados e de metadados. Tal cenário tem forçado mudanças contundentes nos mais diversos segmentos da sociedade (educação, saúde, comércio, governo, ciência). Um exemplo a ser notado, acontece com os protocolos de dados científicos utilizados pelos pesquisadores para desenvolverem seus trabalhos: como instituições oficiais de governos se utilizam desses recursos para tomada de decisão e como o cidadão exige e participa na própria governança dos dados e das informações?

É evidente a necessidade de maior eficiência e competitividade na ciência brasileira e conseqüentemente o estabelecimento de mecanismos de aferições continuadas dos resultados que compõem os parâmetros do novo modelo de desenvolvimento do país.

Para alcançar metas ousadas, as instituições de pesquisa, de modo geral, precisam considerar, além de suas missões atuais, sua história passada e presente e, de forma inequívoca, preservar sua memória organizacional (SASIETA et al., 2011).

Memória organizacional (MO) é definida como a habilidade das organizações para preservar, reter e fazer uso de informações do passado nas atividades atuais e futuras. É um elemento essencial que permite que as organizações aprendam com os erros e acertos do passado (SASIETA et al., 2011). No Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), por exemplo, fazer uso deste tipo de informação é uma atividade complexa, pois se encontra dispersa dentro do instituto (i.e., com indivíduos, em documentos, em relatórios, sistemas de informação, etc.) e é heterogênea (i.e., conhecimentos tácito, explícito, mentalizado, codificado, incorporado, embutido, declarativo, procedural, condicional, etc.), mas a importância do uso desta memória reflete na perenidade do conhecimento gerado ao longo do tempo.

A engenharia do conhecimento fornece um conjunto de ferramentas que podem ser aplicadas no uso e na preservação da MO buscando: (i) adquirir informações e conhecimento a partir de diversas fontes heterogêneas; (ii) organizar o conhecimento em estruturas que podem ser processadas pelos computadores e (iii) fornecer informações e conhecimentos relevantes aos usuários.

De forma geral, a MO pode ser definida como um sistema capaz de armazenar as coisas percebidas, experimentadas ou vividas para além da duração da ocorrência atual, e permitir recuperá-las posteriormente (LEHNER e MAIER, 2000). O conceito de MO está intrinsecamente vinculado ao conceito de aprendizagem organizacional. A memória e a aprendizagem organizacional são processos sociais profundamente enraizados e a eficácia organizacional é alcançada por meio de uma integração sinérgica de uma cultura de compartilhamento de conhecimentos e recursos tecnológicos (HATAMI et al., 2003).

A combinação de tais conhecimentos com recursos tecnológicos disponíveis torna-se essencial para que hipóteses e questões científicas críticas sejam respondidas. O desafio que os pesquisadores enfrentam em distintas áreas de conhecimento, concentra-se também em como tornar esses dados e conhecimentos, primeiramente acessíveis com qualidade, e fazê-lo de forma significativa, permitindo análises colaborativas e sínteses. Para o fato da escassez de dados, percebe-se uma mudança para o aumento de sua disponibilidade, tornando-os essencialmente livres para consumo. A escassez momentânea é a habilidade de compreendê-lo e obter nuances semânticas<sup>1</sup> convergindo para conhecimento a partir dele, com o objetivo de compartilhamento e disseminação na Web. Dados, informação e conhecimento são conceitos que estão interrelacionados (SETZER, 1999).

Segundo TURBAN (2003) os dados nada mais são que a matéria-prima da informação. Já para LE COADIC (2004) dados são uma representação composta de informação codificada de forma a permitir colocá-las sob processamento eletrônico. Os dados são descrições de coisas, eventos e atividades os quais sozinhos não conseguem se unir e representar algum significado. Dado pode ser definido como um conjunto de caracteres (sinais, símbolos etc.), é bruto. Simplesmente existe e não tem nenhum significado além de sua existência (por si só). Pode ser resumido como sendo a matéria-prima da informação a qual deve ser representada de forma a permitir sua manipulação pelo computador. Pode existir em qualquer forma, utilizável ou não (IEEE, 2014).

---

<sup>1</sup> Todas as semânticas que podem ser referidas a um mesmo dado.

De acordo com ZEMAN (1970), o termo informação se resume a dar forma e representar uma idéia; são dados contextualizados para algum propósito. Informação é a leitura que cada indivíduo faz de um conjunto de dados. São dados aos quais foram atribuídos significados pela forma de conexão relacional. Este significado pode ser útil, mas não necessariamente (IEEE, 2014). Em Computação, um banco de dados relacional gera informação a partir de seus dados armazenados. Uma distinção fundamental entre dado e informação é que o primeiro é puramente sintático e o segundo contém necessariamente semântica (implícita na palavra *significado* usada em sua caracterização).

Em uma perspectiva pragmática e operacional, Conhecimento pode ser entendido como a capacidade de interpretar e operar sobre um conjunto de informações (IEEE, 2014). Esses conceitos se organizam de forma hierárquica, na qual os dados, uma vez combinados numa estrutura compreensível, se tornam informação, que por seu turno e na mesma lógica, podem se tornar conhecimento. Portanto, as três definições (dado, informação e conhecimento) mantêm uma relação de interdependência, sendo uma, pré-requisito da outra. Os dados geram a informação de maneira que esta represente algum tipo de mudança, seja quantitativa ou qualitativa perante o conhecimento, que também pode ser utilizado para modificar os dados, gerando assim outras informações.

A gestão do conhecimento constitui atualmente um dos maiores desafios do mundo acadêmico e corporativo. Iniciativas de gestão do conhecimento (GC) devem necessariamente considerar as características do ambiente no qual são implementadas (por exemplo, um conhecimento científico como o do domínio de biodiversidade possui características próprias e peculiares do objeto de estudo).

A investigação corrente em integração de dados tem focado na integração semântica, que objetiva atenuar os conflitos semânticos entre fontes de dados heterogêneas (problemas relacionados a conceitos semanticamente equivalentes ou conceitos semanticamente relacionados x não-relacionados, e.g., “subtropical” é uma instância de “clima” e de “floresta”) ao invés de projetar a estrutura da arquitetura de integração. Uma das estratégias que vem sendo utilizada para lidar com tais problemas é o uso de elementos integradores - como as ontologias - para tratar e eliminar conflitos semânticos que permeiam esse domínio.

Neste contexto, a manipulação ontológica de diversas fontes de dados é uma solução útil para orientar a Gestão de Conhecimento (GC) (FALBO,1998), uma vez que ontologias surgiram como ferramentas para adquirir, representar, organizar e compartilhar conhecimento

em um determinado domínio (NOY e MCGUINESS, 2001), fazendo com que diversas áreas de aplicação a utilizem para gerenciar conhecimento. Entretanto, esta solução tem se mostrado adequada quando são manipuladas bases de dados de certa forma já organizadas, com algum tipo de estrutura, não havendo ainda, consenso sobre as melhores estratégias para quando tal estrutura não estiver presente ou bem definida.

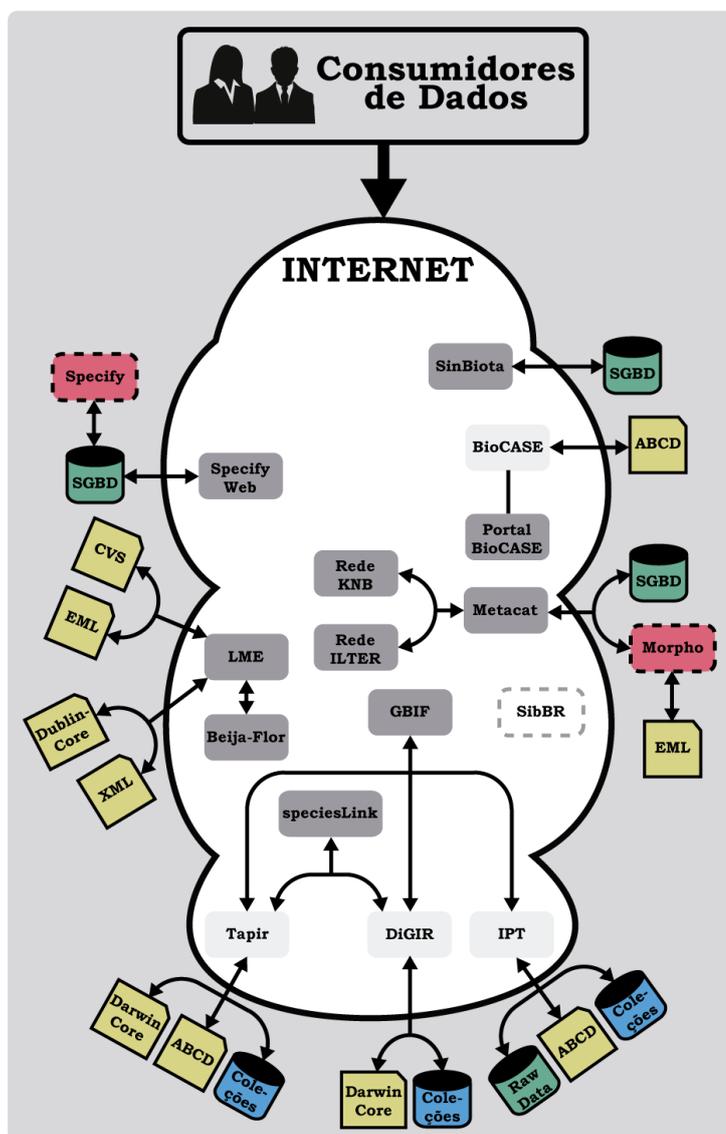
Perguntas como o que as pessoas devem representar e como elas organizam o conhecimento, seja este estruturado ou não, tácito ou explícito, ainda não foram respondidas satisfatoriamente. Trata-se de questões de representação do conhecimento, destacando a necessidade de equacionar os diferentes pontos de vista acerca de um mesmo domínio.

## **1.2 Motivação e Justificativa**

A elicitación, organização e uso do conhecimento são elementos essenciais ao suporte automático de tarefas, à comunicação e à socialização da produção intelectual, individual e coletiva. A ausência de arquiteturas computacionais baseadas em conhecimento capazes de prover esses elementos estruturantes é um dos principais fatores limitantes à geração de tecnologias de apoio ao uso significativo, por usuários finais, de conteúdos disponíveis através da Web. Isto porque o conteúdo disponibilizado na Web é livre (para acesso e produção) e não existem técnicas diretas para acessar e organizar o conhecimento que encontra-se na mente do indivíduo (conhecimento tácito). No contexto científico, ter acesso ao conhecimento de um indivíduo, adquirido ao longo da vida, pela experiência, em décadas de trabalho e pesquisa enriqueceria a qualidade dos dados disponibilizados. Geralmente, este tipo de conhecimento é difícil de ser formalizado ou explicado a outra pessoa, pois é subjetivo e inerente às habilidades de uma pessoa. A palavra tácito vem do latim *tacitus* que significa "que cala, silencioso", aplicando-se a algo que não pode ou não precisa ser falado ou expresso por palavras. É subentendido ou implícito.

Em alguns domínios, a aquisição e representação do conhecimento é uma questão estratégica e bastante complexa – é o caso da biodiversidade. A complexidade advém da característica da pesquisa em biodiversidade ser transdisciplinar. Esta interpretação se deve ao nível de integração disciplinar além da interdisciplinar (pois considera a perspectiva teórico-metodológica comum para as disciplinas envolvidas). Não há fronteira entre as disciplinas e, segundo D'AMBROSIO (2011), a transdisciplinaridade é uma postura transcultural de respeito pelas diferenças; de solidariedade na satisfação das necessidades fundamentais, e de busca de uma convivência harmoniosa com a natureza. No contexto da biociência, a atividade

de investigação solicita a cooperação de pesquisadores de várias disciplinas e que aplicam diferentes métodos e instrumentos nas pesquisas. Os biólogos, por exemplo, realizam diferentes tipos de atividades, incluindo coletas em campo, análises de dados sobre os espécimes coletados, seus habitats e correlações com outros seres vivos, construindo modelos capazes de descrever essas interações. Os dados disponíveis vêm sendo coletados em vários lugares do mundo, sendo publicados em formatos distintos e especificados em inúmeros padrões. Este cenário é caracterizado por sua heterogeneidade intrínseca – não apenas de dados e modelos conceituais utilizados, como também de necessidades e perfis dos especialistas que coletam e analisam os dados. SERIQUE (2014) apresenta uma visão geral das principais tecnologias, padrões, protocolos e das redes de disseminação de dados de biodiversidade utilizados atualmente no Brasil no âmbito da Internet (Figura 1).



**Figura 1** - Fontes de dados sobre biodiversidade. Fonte: (SERIQUE, 2014).

Os retângulos em cinza, no ambiente da Internet, representam as ferramentas e redes de informações para disseminação de dados sobre biodiversidade, baseadas em tecnologias Web. Apenas um retângulo cinza, com contornos tracejados representa uma ferramenta em desenvolvimento, o SiBBR. Os retângulos brancos representam os protocolos utilizados para disseminação de dados sobre biodiversidade em rede (i.e., Tapir, DiGIR e IPT). No ambiente do usuário (Consumidores de Dados), os silos verdes representam os sistemas gerenciadores de banco de dados. Ainda, os ícones de arquivo, em amarelo, representam os padrões de dados e metadados. Os retângulos em vermelho, representam as ferramentas *stand-alone*<sup>2</sup> utilizadas para administrar dados sobre biodiversidade. Os silos cinza representam sistemas e redes provedores de dados.

É notável a crescente demanda por estes dados em diversas aplicações consideradas importantes, como avaliação de impacto ambiental, definição de áreas de preservação ambiental, proteção de espécies ameaçadas, recuperação de áreas degradadas, bioprospecção, estabelecimento de políticas públicas, legislação ambiental, entre outras. Os dados e conhecimentos científicos sobre biodiversidade exercem um importante papel no atendimento a demandas deste tipo, pois acumulam investimentos de vários anos em exploração e pesquisa. No entanto, tornar isso cada vez mais acessível ao público interessado de forma adequada, rápida e confiável, impõe o desenvolvimento de sistemas capazes de extrair, armazenar, gerenciar, analisar, integrar e disseminar os diferentes dados das diversas fontes de dados de biodiversidade através do uso de elementos estruturantes, especialmente linguagens, protocolos e mecanismos de representação como ontologias que possibilitem a automação das atividades. No Brasil, tem-se limitadores na infraestrutura física e de comunicação, além de assimetrias regionais (ALBUQUERQUE, 2011).

As ontologias ligadas à biologia e ciências da vida Gene Ontology (genética) (ASHBURNER et al., 2000) e TAMBIS Ontology (Transparent Access to Multiple Bioinformatics Information Sources) (biologia molecular) (BAKER et al., 1998), têm contribuído para grandes avanços na área, pois permitem a associação de significado aos dados gerados em experimentos, além de possibilitar a integração das várias fontes de conhecimento, uma nova abordagem para preparação de experimentos ou ainda a busca de respostas usando resultados de fontes distintas através da aquisição de novos conhecimentos; em biodiversidade, entretanto, ainda não há um amplo consenso entre as ontologias, embora haja vários grupos de

---

<sup>2</sup> Independente, auto-suficiente

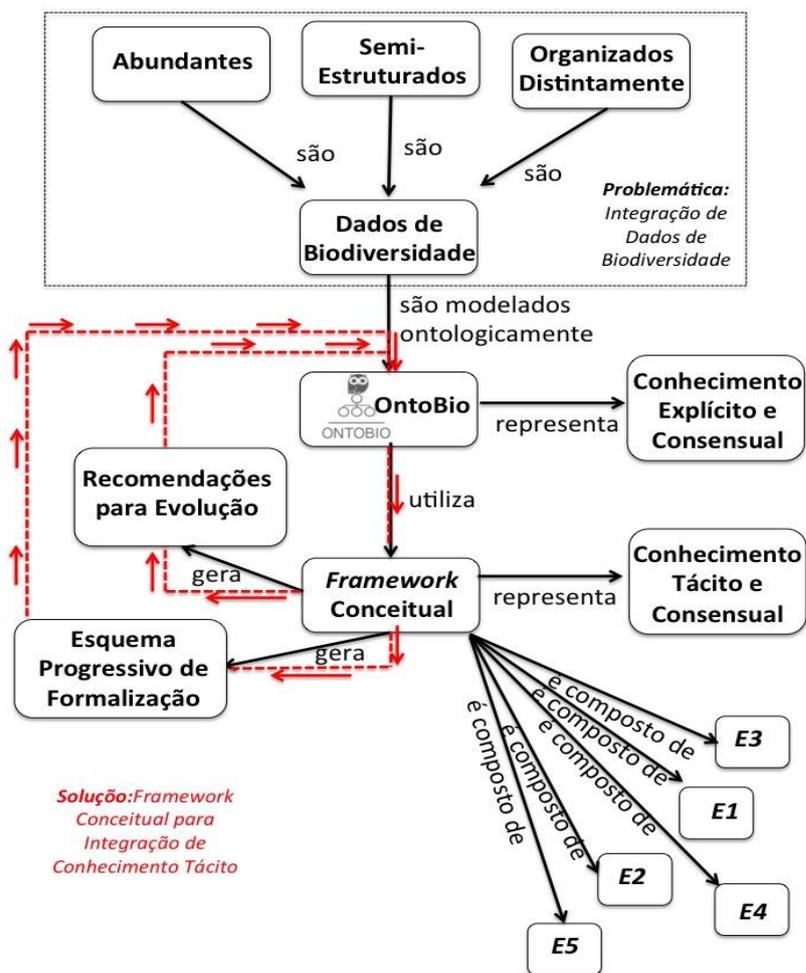
pesquisa envolvidos em iniciativas globais como o Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (GBIF, 2014). Nesse contexto, o projeto de modelagem e implementação de uma ontologia de biodiversidade, a OntoBio (ALBUQUERQUE, 2011), constitui uma importante, e já validada tecnologia para a adoção da aplicação de ontologias formais à aquisição de conhecimento. A OntoBio marca e define um outro paradigma para tratar as questões de biodiversidade.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da OntoBio e de ontologias de maneira geral, utilizam conhecimento explícito para definição do esquema ontológico do domínio. Desta forma, o conhecimento tácito do domínio não é considerado durante a modelagem e observa-se que muito poderia ser inferido e o alcance do esquema modelado seria maior se o mesmo fosse considerado durante a formalização; a ontologia seria mais expressiva semanticamente. Utilizar conhecimento tácito na modelagem ontológica constitui-se na principal motivação e justificativa deste trabalho, gerando uma extensão da OntoBio, uma nova versão mais rica semanticamente.

A pesquisa aqui proposta envolve questões recorrentes da Inteligência Artificial (IA) como aquisição, eliciação e formalização do conhecimento, automatização do processo de integração do conhecimento, representação do conhecimento associada a efeitos práticos evidentes para as diversas gerações da Web e a complexidade dos dados do domínio em questão (parâmetros espaço-temporais, estrutura indefinida, multidimensionalidade e multimídia, vocabulário incógnito expresso por uma linguagem particular, grande volume de dados, existência de numerosos modelos e formatos de dados).

A Figura 2 apresenta uma ilustração da contextualização do problema e solução proposta na pesquisa realizada. Dados de biodiversidade são complexos (em seus formatos e modelos), são encontrados de forma abundante e dispersa, são semi-estruturados e estão organizados de forma distinta dependente do elicitador ou do especialista que gerou o conhecimento, caracterizando a problemática da integração de dados de biodiversidade. Com o propósito de minimizar os problemas oriundos da interoperabilidade dos dados de biodiversidade (heterogeneidade semântica), foi desenvolvida a OntoBio, uma ontologia formal de biodiversidade. A OntoBio foi modelada com base no conhecimento explícito e consensual sobre biodiversidade, o conhecimento tácito não foi considerado quando do seu desenvolvimento. A agregação de conhecimento tácito a esquemas ontológicos tem o propósito de aumentar a expressividade das ontologias. Este propósito norteou esta pesquisa que consiste no desenvolvimento de um *framework* conceitual para incorporar semântica à

ontologias formais através do conhecimento tácito. A aplicação do *framework* a uma ontologia de domínio gera duas saídas principais: (i) Recomendações para evolução da ontologia base a partir do modelo mental do especialista de domínio. A cada novo modelo mental elicitado e formalizado, novas recomendações para mudança são disponibilizadas. A ontologia passa a ser um instrumento dinâmico de representação do conhecimento; e (ii) A cada modelo mental aplicado ao *framework*, um Esquema Progressivo de Formalização (EPF) é gerado, permitindo revisita ao conhecimento elicitado e formalizado para uso posterior (outro momento ou contexto), permitindo acesso ao conhecimento em diferentes níveis de granuralidade e minimizando as perdas semânticas que possam ocorrer nos diferentes níveis de representação do conhecimento. O *framework* conceitual é composto de cinco etapas: Elicitação (*E1*); Formalização (*E2*); Composição (*E3*); Evolução (*E4*) e Análise (*E5*) que serão apresentadas em detalhe no decorrer deste documento.



**Figura 2** – Contextualização do problema e a solução proposta.

### 1.3 Hipótese e Questões de Pesquisa

O projeto de Albuquerque (ALBUQUERQUE, 2011) desenvolvido no curso de mestrado do PPGI/UFAM (2010-2011), propôs uma solução para um problema recorrente na representação do conhecimento: como estruturar e integrar o conhecimento de diferentes bases de dados (semi-estruturadas) de mesmo domínio ou de domínios interrelacionados (multidisciplinar), como é o caso da biodiversidade. Para tanto, uma ontologia formal de biodiversidade foi desenvolvida, a OntoBio. Neste período, observou-se que muito do conhecimento do especialista, que não estava contido nas bases de dados, não era representado e se perdia.

Esta pesquisa tem foco na gestão do conhecimento científico e apresenta como hipótese:

*Agregação de conhecimento tácito aos formalismos (instrumentos estruturantes) de conhecimento aumenta a expressividade semântica dos formalismos.*

As questões de pesquisa subjacentes à hipótese apresentada, incluem:

- **Como elicitar e formalizar o conhecimento tácito de um especialista de biodiversidade?**
- **Como integrar conhecimento tácito a conhecimento formal?**

Estas questões podem ser decompostas em sub-questões para uma melhor compreensão:

#### **1 - Como elicitar conhecimento científico de biodiversidade?**

Refere-se à eliciação do conhecimento científico, seja através de metodologias científicas para entrevista, ou de técnicas para Gestão de Conhecimento Científico (GCC); ou ainda de outros tipos de métodos para aquisição de conhecimento, eliciação e explicitação do conhecimento.

#### **2 - Como integrar modelos mentais<sup>3</sup> a ontologias formais?**

Diz respeito à tarefa de integrar os vários entendimentos, compreensões dos modelos mentais modelados.

#### **3 - Como formalizar o conhecimento do especialista de domínio (pesquisador, mateiro, pescador, guia, etc.) que não está representado na OntoBio?**

---

<sup>3</sup> Segundo Susan Carey (CAREY, 1988; CAREY e SPELKE, 1994): “Representa o processo de pensamento de uma pessoa para como algo funciona (ou seja, o entendimento do mundo ao redor). Baseados em fatos incompletos, experiências passadas e até mesmo percepções intuitivas. Ajudam a moldar ações e comportamentos, influenciam o que será considerado mais relevante em situações complexas e definem como indivíduos confrontam e resolvem problemas.”

Busca-se compreender o modelo mental do especialista e de que forma o mesmo pode ser formalizado. É preciso verificar se efetivamente pode-se transformar um conhecimento não-estruturado em estruturado e avaliar a eficácia da transformação com referência a opções de sua aplicabilidade.

#### **4 - Como agregar o conhecimento tácito elicitado ao conhecimento que já se encontra representado em uma ontologia formal (OntoBio)?**

O propósito é agregar o conhecimento que já está estruturado na ontologia formal ao conhecimento científico tácito anteriormente elicitado e formalizado.

### **1.4 Objetivo**

O objetivo geral desta pesquisa é propor uma estrutura (*framework*) conceitual para integrar conhecimento tácito científico a instrumentos estruturantes do conhecimento, agregando expressividade semântica a esses instrumentos<sup>4</sup>.

Os objetivos específicos compreendem:

- Justificar o uso de ontologias como instrumento estruturante de conhecimento;
- Elicitar requisitos do domínio de biodiversidade, através dos Modelos Mentais dos Especialistas (MMEs);
- Investigar ferramentas para gestão do conhecimento elicitado;
- Propor um esquema de formalização do conhecimento elicitado.;
- Projetar uma arquitetura para a composição dos MMEs formalizados;
- Sistematizar o processo de geração de recomendações para a evolução da OntoBio;
- Propor recomendações para evolução da OntoBio.

### **1.5 Abordagem Metodológica**

O desenvolvimento desta pesquisa compreendeu a realização de investigação em Ciência da Computação no contexto da IA e do cenário descrito na Seção 1.2, conforme segue:

#### **1. Revisão da Literatura e Referencial Teórico.** Levantamento e análise da

---

<sup>4</sup> Nesta pesquisa, o elemento estruturante utilizado em estudo de caso foi a OntoBio (ALBUQUERQUE, 2011), uma ontologia formal do domínio de biodiversidade desenvolvida no cenário de coleções biológicas e eventos de coleta de campo do INPA (SANTOS et al., 2011; LAPP et al., 2011).

literatura imprescindível à investigação, em especial nos temas de fundamentos da IA, Gestão do Conhecimento, Biodiversidade, modelagem de conhecimento tácito e gestão de dados heterogêneos;

## **2. Estudo de Caso de Biodiversidade;**

**2.1 Elicitação de conhecimento** para o levantamento de dados e das conceitualizações a eles associadas. Esta fase da metodologia foi planejada considerando o domínio da aplicação e as técnicas utilizadas para elicitación do conhecimento;

**2.1.1 Análise da OntoBio.** Identificação do conhecimento representado na ontologia;

**2.1.2 Elicitação de conhecimento especializado** não formalizado na OntoBio (ciclos de refinamentos sucessivos). Representação do modelo mental do especialista (MME);

**2.1.3 Análise de integração** de dados na OntoBio;

**2.2 Formalização dos requisitos elicitados.** Elaboração de método de formalização dos diferentes MMEs concebidos na elicitación do conhecimento;

**2.3** Elaboração de mecanismos para **composição das Bases de Conhecimento Especialistas Individual (BCEs)**. Integração dos vários modelos individuais formalizados. Adoção de recursos para manutenção da verdade, comunicação, negociação, correspondência e integração de ontologias;

**2.4** Definição de sugestões de mudança para a ontologia. **Recomendações para Evolução da Ontologia;**

**2.4.1 BCEs** individual;

**2.4.2** Mecanismo de **COMPOSIÇÃO** das BCEs individuais;

**2.4.3** Mecanismo de **INTEGRAÇÃO** (Ontologia formal + BCEs). Elaboração de mecanismo de **integração (BCEs + OntoBio)**. Integração das BCEs à OntoBio;

**2.5 Avaliação das recomendações para evolução da OntoBio;**

**3. Análise do *framework* conceitual proposto** na etapa 2. Esta etapa deverá ser planejada podendo fazer uso da aplicação do arcabouço através de prova de conceito, análise de cenários, simulação, etc.

## **1.6 Contribuições Científicas**

Algumas contribuições científicas desta pesquisa são elencadas a seguir:

- Estabelecer mecanismos para modelar conhecimento tácito;
- Representar e utilizar o conhecimento do especialista de domínio de forma estruturada;
- Integrar conhecimento tácito e conhecimento explícito;
- Verificar se linguagens de modelagem conceitual bem fundamentadas baseadas em ontologias permitem a especificação de ontologias de domínios mais complexos, como o de biodiversidade;
- Aumentar a expressividade semântica da OntoBio;
- Avaliar a utilização da engenharia de ontologia para o desenvolvimento de ontologias complexas.

## 1.7 Organização da Tese

A hierarquia dos capítulos da tese é apresentada na Figura 3. Este documento está organizado em 8 capítulos com indicação do fluxo de informação para orientação de leitura.

O **Capítulo 1** contextualiza esta pesquisa focando no problema, motivações de pesquisa e objetivos.

O **Capítulo 2** apresenta uma revisão bibliográfica e um referencial teórico sobre o tema principal desta pesquisa: gestão de conhecimento científico tácito no domínio de biodiversidade.

No **Capítulo 3**, uma proposta de desenvolvimento de *framework* para elicitación e organização do conhecimento é apresentada.

O **Capítulo 4** apresenta a etapa de elicitación do conhecimento do *framework* (*E1*).

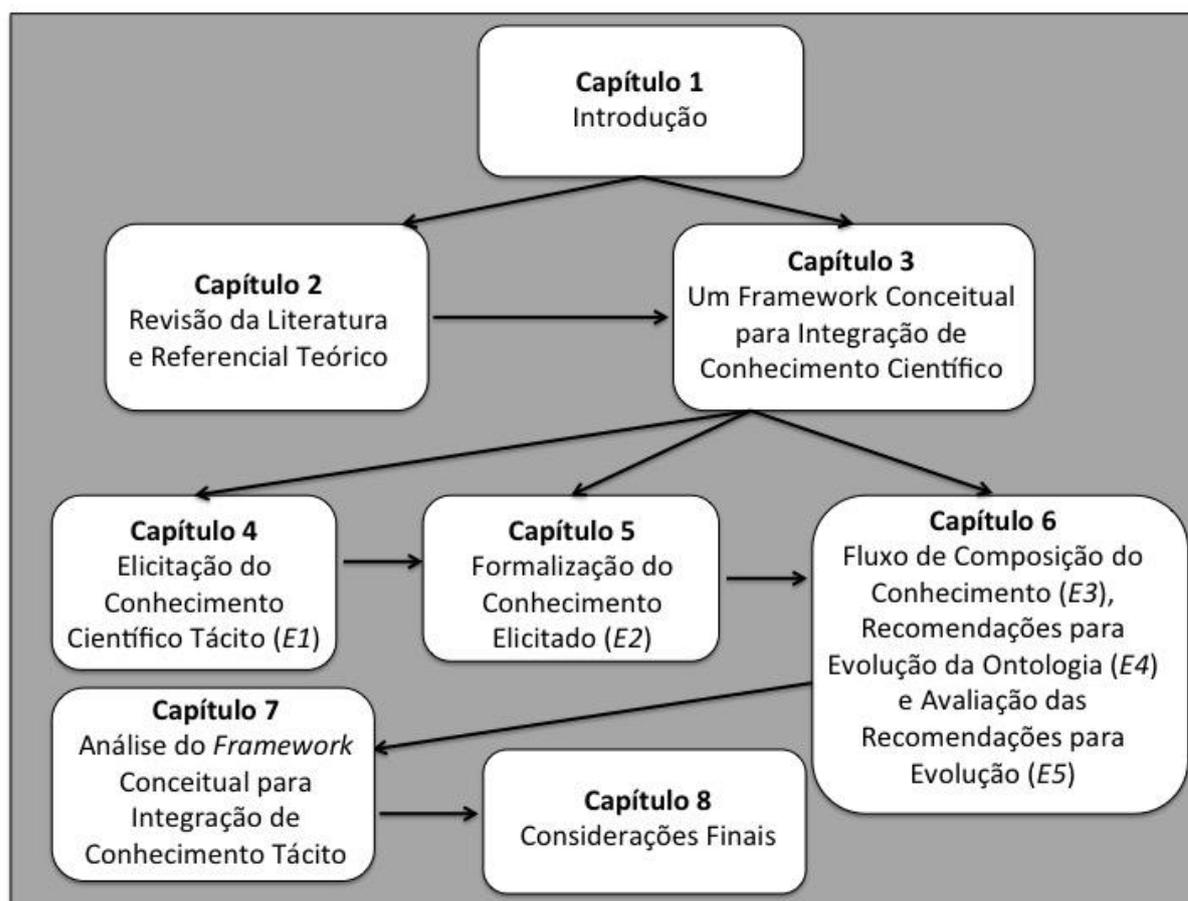
O **Capítulo 5** apresenta a etapa de formalização do conhecimento (*E2*).

As demais etapas do *framework*, que compreendem a composição das bases de conhecimento (*E3*), a especificação de esquemas conceituais acopláveis à estrutura de ontologias formais (nesta pesquisa, à OntoBio) e às bases de dados não convencionais de biodiversidade (*E4*), e a avaliação das recomendações de *E4* (*E5*) são apresentadas no **Capítulo 6**.

O **Capítulo 7** apresenta uma análise do *framework* conceitual. As considerações finais desta pesquisa e perspectivas de futuros trabalhos são apresentados no **Capítulo 8**.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas. O Apêndice A apresenta uma lista com as publicações da autora relacionadas a esta pesquisa. O Apêndice B

apresenta o esquema conceitual da OntoBio. O Apêndice C apresenta uma descrição dos modelos mentais elicitados e tratados em *E1* para o estudo de caso desta pesquisa. Os Apêndices D e E, respectivamente, apresentam as representações em OntoUML e OWL do MME3; a título de ilustração apresenta-se apenas um exemplo completo. A representação de todos os MMEs elicitados nesta pesquisa em OntoUML e OWL encontram-se disponíveis *online* no *link* [portal.inpa.gov.br/ctin/lis/frameworkconceitual/](http://portal.inpa.gov.br/ctin/lis/frameworkconceitual/). O Apêndice F apresenta as recomendações de mudança na ontologia após aplicação das etapas do *framework* conceitual à OntoBio.



**Figura 3** – Organização dos capítulos da tese.

## **CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO**

*Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica da literatura e o referencial teórico relacionado à esta pesquisa.*

### **2.1 Revisão da Literatura**

A revisão da literatura refere-se ao levantamento do assunto do tema pesquisado. Com o propósito de apresentar o roteiro da revisão bibliográfica, será descrito um mapa conceitual que funcionará como uma estrutura dos temas e conceitos que estão relacionados e que servem de base para a pesquisa proposta. Este mapa conceitual foi elaborado com base nas seções de contextualização do problema e justificativa e motivação.

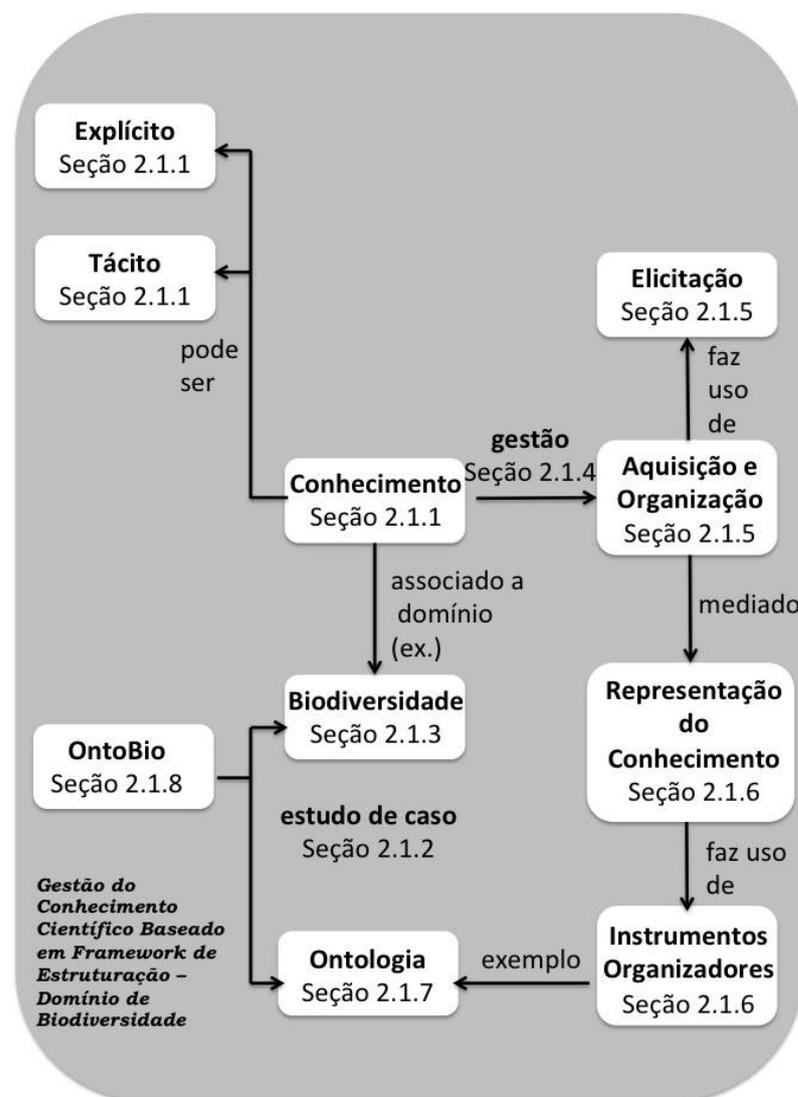
O mapa conceitual é uma estrutura esquemática para representar um conjunto de conceitos imersos numa rede de proposições. É considerado um estruturador do conhecimento, na medida em que permite mostrar como o conhecimento sobre determinado assunto está organizado na estrutura cognitiva de seu autor, que assim pode visualizar e analisar sua profundidade e extensão. O mapa conceitual pode ser entendido como uma representação visual utilizada para partilhar significados, pois explicita como o autor entende as relações entre os conceitos enunciados. O mapa conceitual se apóia fortemente na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel<sup>5</sup>, que menciona que o ser humano organiza o seu conhecimento através de uma hierarquização dos conceitos (TAVARES, 2007).

O mapa conceitual da Figura 4 estrutura e organiza o conhecimento relacionado a esta pesquisa. Informações ricas semanticamente geram conhecimento que podem ser classificados de várias formas. A gestão deste conhecimento (GC) constitui atualmente um dos maiores desafios do mundo acadêmico e corporativo. Iniciativas de gestão do conhecimento devem necessariamente considerar as características do ambiente no qual são implementadas. Como por exemplo, um conhecimento científico como o do domínio de biodiversidade (estudo de caso) possui características próprias e peculiares do objeto de estudo. Técnicas para aquisição e organização do conhecimento são recurso útil para auxiliar

---

<sup>5</sup> Psicólogo da educação, representante do cognitivismo.

o processo de GC. Um *framework* de estruturação do conhecimento (esta pesquisa) pode ser utilizado para mediar a organização do conhecimento emergente das bases de dados definidas pelos especialistas. O *framework* de estruturação utiliza como recurso base técnicas para elicitação do conhecimento. Para a representação do conhecimento (organização), alguns instrumentos organizadores podem ser utilizados, a saber: *frames*, ontologias, redes semânticas. Para esta pesquisa, será utilizada ontologia como instrumento organizador do conhecimento de biodiversidade e OntoBio será a ontologia de biodiversidade utilizada como estudo de caso.



**Figura 4** - Mapa conceitual da revisão bibliográfica.

### 2.1.1 Conhecimento

Para MIZZARO (1997; 1998) conhecimento é a forma como uma pessoa reconhece o mundo a sua volta. Burke<sup>6</sup> por sua vez, resume conhecimento como a habilidade de criar um modelo mental que descreva os objetos que estão ao redor do homem. Tudo o que é processado pela mente.

Conhecimento é uma coleção adequada de informações, de tal forma que a intenção é ser útil. É uma abstração interior, pessoal, de alguma coisa que foi experimentada por alguém. Nesse sentido, o conhecimento não pode ser descrito inteiramente - de outro modo seria apenas dado (se descrito formalmente e não tivesse significado) ou informação (se descrito informalmente e tivesse significado) (SETZER, 1999). Também não depende apenas de uma interpretação pessoal, como a informação, pois requer uma vivência do objeto do conhecimento. O conhecimento é um processo determinístico e pode ser compreendido como a habilidade que cada um de nós tem de representar os objetos que estão a nossa volta (o mundo em nossa volta).

Compreender as diferentes formas de conhecimento, sendo, capaz de distinguir entre diferentes tipos de conhecimento, é um passo essencial para a gestão do conhecimento (GC).

Ao longo dos séculos muitas tentativas têm sido feitas para classificar conhecimento e diferentes campos focaram em diferentes dimensões. Isto resultou em numerosas classificações e distinções baseadas na filosofia e até religião.

No contexto de GC dois tipos de conhecimento são geralmente definidos: explícito e tácito (POLANYI, 1966). O primeiro refere-se ao conhecimento codificado, tal como o encontrado em documentos, enquanto o segundo refere-se ao conhecimento não codificado e muitas vezes pessoal/baseado em experiência.

GC e teoria da aprendizagem organizacional estão norteadas na interação e relação entre esses dois tipos de conhecimento. Este conceito foi introduzido e desenvolvido por Nonaka (NONAKA, 1994) e continua a ser a base teórica desta disciplina. BOTHA et al. (2008) apontam que o conhecimento tácito e explícito deve ser visto como um espectro em vez de pontos definitivos. Assim, na prática, todo o conhecimento é uma mistura de elementos tácitos e explícitos ao invés de ser um ou o outro.

---

<sup>6</sup> James Burke é a figura central do *Knowledge Web Project*, uma realização digital de seus livros e programas de televisão, que permite ao usuário viajar através da história e criar suas próprias conexões. Eventualmente, o *Knowledge Web Project* fará uso de realidade virtual imersiva com recriações históricas de pessoas, lugares e eventos.

## **A - Conhecimento Explícito**

Este tipo de conhecimento é formalizado e codificado, e é muitas vezes referido como *knowwhat* (BROWN e DUGUID, 1998). Por esta razão, é fácil de identificar, armazenar e recuperar (WELLMAN, 2009). Este é o tipo de conhecimento mais facilmente manipulado por Sistemas de Gestão de Conhecimento (SGC), que são eficazes para facilitar o armazenamento, recuperação e modificação de documentos e textos. É geralmente qualificado de *objetivo* e mais simples de ser formalizado com palavras, números e fórmulas, para ser transmitido rapidamente e em grande escala. Geralmente, é percebido como teórico e sua transmissão pode ser realizada muito formalmente.

Muitos teóricos consideram o conhecimento explícito como sendo menos importante (BROWN e DUGUID, 1991; COOK e BROWN, 1999; BUKOWITZ e WILLIAMS, 1999). Considera-se mais simples em natureza e não pode conter a rica experiência baseada, *know-how*.

O conhecimento explícito é encontrado em: bancos de dados, memorandos, notas, documentos, etc (BOTHÁ et al., 2008).

## **B - Conhecimento Tácito**

Este tipo de conhecimento foi inicialmente definido por Polanyi em 1966. É por vezes referido como *know-how* (BROWN e DUGUID, 1998) e refere-se ao conhecimento intuitivo, difícil de definir, largamente baseado em experiência. O conhecimento tácito é frequentemente dependente de contexto e de natureza pessoal. É difícil de comunicar e profundamente enraizado em ação, comprometimento e envolvimento (NONAKA, 1994). É encontrado na mente das pessoas. Por essência, é prático e é geralmente fruto de uma longa experiência, de uma convivência. Este conhecimento inclui crenças culturais, valores, atitudes, modelos mentais, etc, bem como habilidades, capacidades e perícia (*expertise*) (BOTHÁ et al., 2008).

O conhecimento tácito é também considerado como a mais valiosa fonte de conhecimento, e o mais provável de conduzir a avanços (WELLMAN, 2009).

SGC tem tido dificuldade em lidar com esse tipo de conhecimento. Um Sistema de Tecnologia da Informação (STI) depende de codificação, que é algo que é difícil em se tratando de conhecimento tácito pois depende de sua modelagem e representação.

A medida exata em que os sistemas de Tecnologia da Informação (TI) podem ajudar na

transferência e valorização do conhecimento tácito é uma discussão complicada. Por enquanto, o sucesso das iniciativas de GC devem colocar uma ênfase muito forte na dimensão tácita, centrado principalmente nas pessoas envolvidas, e estas devem entender as limitações impostas pelos sistemas computadorizados.

### **2.1.2 Estudo de Caso**

Para YIN (2005), o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real adequado quando as circunstâncias são complexas e podem mudar, quando as condições que dizem respeito não foram encontradas antes, quando as situações são altamente politizadas e onde existem muitos interessados (LLEWELLYN e NORTHCOTT, 2007).

A abordagem de estudo de caso não é um método propriamente dito, mas uma estratégia de pesquisa (HARTLEY, 1994). E pode ser utilizado para diferentes fins: exploratório (desenvolver ideias e hipóteses para investigação); construção de teoria; testar teoria; aperfeiçoar teoria (VOSS et al., 2002).

Entre os principais benefícios na condução de estudo de caso, destacam-se: (a) o aumento da compreensão e do entendimento sobre os eventos reais contemporâneos, além de permitir uma descrição; (b) o teste de uma teoria existente; e (c) o desenvolvimento de uma nova teoria (FREITAS e JABBOUR, 2011).

A realização de um estudo de caso não é uma tarefa fácil, exige tempo e dedicação do pesquisador e, frequentemente, “os trabalhos são sujeitos a críticas em função de limitações metodológicas na escolha do(s) caso(s), análise dos dados e geração de conclusões suportadas pelas evidências” (MIGUEL, 2007).

YIN (2005) salienta que muitos pesquisadores demonstram certo descrédito em relação à estratégia de estudo de caso, devido (a) à falta de rigor nas investigações; (b) fornecem pouca base para generalizações; (c) consomem muito tempo; d) facilidade na distorção dos dados.

Apesar das limitações, o estudo de caso é o método mais adequado para conhecer em profundidade todas as nuances de um determinado fenômeno organizacional. Nesse sentido, mesmo conduzindo-se um caso único, podem-se tentar algumas generalizações, quando o contexto envolve casos decisivos, raros, típicos, reveladores e longitudinais (YIN, 2005).

Para garantir a qualidade e o sucesso da pesquisa científica, GUMMESSON (2007) e

YIN (2005) destacam que a investigação precisa preencher três critérios: validade, generalização e confiabilidade.

Nesta pesquisa será realizado um estudo de caso para integrar conhecimento tácito científico específico do domínio de biodiversidade utilizando-se a OntoBio (seção 2.1.8) para tal.

### **2.1.3 Biodiversidade**

Biodiversidade é hoje um termo científico citado e propagado em todo o mundo. O conceito de biodiversidade procura referir e integrar toda a variedade de organismos vivos, nos mais diferentes níveis (LEWINSOHN, 2014).

A pesquisa em biodiversidade é um campo interdisciplinar que requer a cooperação de vários tipos de pesquisadores. Os biólogos realizam diferentes tipos de atividades, incluindo coletas em campo, sejam as amostras para coleção ou não, análises de dados sobre os espécimes coletados, seus habitats e correlações com outros seres vivos, construindo modelos capazes de descrever essas interações. Os dados disponíveis vêm sendo coletados em vários lugares do mundo, sendo publicados em formatos distintos e especificados em inúmeros padrões. Este cenário é caracterizado por sua heterogeneidade intrínseca – não apenas de dados e modelos conceituais utilizados, como também de necessidades e perfis dos especialistas que coletam e analisam os dados.

O grande volume de dados e a diversidade de espécimes atuam como fatores intensificadores deste cenário. As estimativas sobre o número de espécies vegetais e animais existentes no mundo variam entre 10 e 50 milhões, das quais apenas 1,5 milhões de espécies são atualmente classificadas pelos cientistas (estimativa realizada pelo WWF – Fundo Mundial para a Natureza). Entre os especialistas, o Brasil é considerado o país da “megadiversidade”, abrangendo cerca de 20% das espécies conhecidas em todo o mundo (ASSUNÇÃO, 2014). Essa diversidade motiva diversos esforços na coleta de dados, dando origem, por consequência, a um grande volume de informações. Isto gera uma demanda por mecanismos com bom desempenho de processamento e sofisticados recursos de armazenamento, gerenciamento, compartilhamento, processamento e mineração, que permitam uma análise integrada e correlacionada desses dados<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> World Wide Fund For Nature, fonte <http://www.wwf.org.br>.

A situação crítica da biodiversidade neste início de século XXI pode ser caracterizada pela combinação de processos acelerados de destruição de ecossistemas primários associados a esforços mobilizadores para a conservação e uso sustentável e de grandes avanços em tecnologia de informação e comunicação de dados (TIC). Esta combinação de fatores está propiciando o surgimento de uma nova área de desenvolvimento científico e tecnológico, denominada informática para biodiversidade (CANHOS, 2003). Além de aspectos relacionados ao desenvolvimento de *software* para a análise e síntese de dados, avanços significativos estão ocorrendo na definição de padrões (ex.: *Darwin Core* (BLUM et al., 2005)) e protocolos (ex.: *Distributed Generic Information Retrieval* (DIGIR) (VIEGLAIS, 2003), *TDWG Access Protocol for Information Retrieval* (TAPIR) (BLUM et al., 2005)) para integração de dados distribuídos, fundamentais para a construção da infra-estrutura global de informação sobre biodiversidade (CANHOS, 2003).

## **A - A Complexidade dos Dados de Biodiversidade e o Conhecimento Tácito do Especialista**

Os dados científicos de biodiversidade apresentam duas características importantes: não são fortemente tipados<sup>8</sup> e possuem alguma forma de estrutura, ainda que implícita, que pode ser percebida pelo usuário. Essa estrutura não é rígida, podendo apresentar variações diversas. Na literatura, dados deste tipo são usualmente chamados semi-estruturados (BUNEMAN, 2000).

Tais bases não têm uma estrutura regular e estática como a encontrada em bancos de dados relacionais (HAMMER et al., 1995). Apesar de haver alguma estrutura nos dados se suas unidades forem visualizadas individualmente, os dados semi-estruturados são inadequados para serem modelados usando uma abordagem convencional (como tem sido feito regularmente, dificultando todo o processo de integração de diferentes bases de dados para um mesmo domínio de aplicação). Diversas dessas estruturas incluem gráficos, textos, hipertextos, arquivos diversos, vídeos, arquivos de áudio, e são encontradas em sistemas de arquivos, sistemas de correio eletrônico, e na Web, entre outros. As diversas fontes de dados semi-estruturados apresentam como principal característica o fato de serem ricas em dados e terem uma abrangência semântica bastante específica. Fontes como essas constituem repositórios de objetos complexos da mesma forma que bancos de dados, sendo que, os objetos nessas fontes de dados estão estruturados de forma implícita.

---

<sup>8</sup> Dados fortemente tipados são aqueles cuja declaração do tipo é obrigatória.

Dados de biodiversidade apresentam um alto nível de complexidade. Esta complexidade associada à dimensão tácita do conhecimento (oriunda de um pesquisador, mateiro, pescador, guia nativo, comunidade, etc.), dificulta ainda mais a gestão do conhecimento científico de biodiversidade. A gestão deste tipo de conhecimento é fundamental quando se fala de definição de ações estratégicas para o futuro, repasse de conhecimento para as próximas gerações, estruturação de conhecimento, entre outros aspectos.

#### **2.1.4 Gestão do Conhecimento (GC)**

A grande quantidade de conhecimento científico gerado por instituições de pesquisa tem dado origem a discussões sobre Gestão do Conhecimento Científico (GCC). As instituições tentam encontrar a melhor maneira de organizar e disseminar o conhecimento produzido por seus pesquisadores e proporcionar ambientes e ferramentas que estimulem a colaboração entre eles, na tentativa de gerar inovações e novos conhecimentos que possam atender às demandas da sociedade.

Quando se tenta praticar a GCC, é necessário entender a maneira pela qual o conhecimento é obtido, quem possui o conhecimento, como ele está formatado e que barreiras, físicas e culturais, devem ser transpostas para codificá-lo e disseminá-lo (ASRAR-UL-HAQ e ANWAR, 2016).

O desenvolvimento científico e o desenvolvimento tecnológico são fenômenos circulares perfeitamente observáveis, pois a ciência permite produzir a tecnologia, e esta, permite o desenvolvimento da ciência, que, por sua vez, desenvolve a tecnologia. O avanço tecnológico aumenta o campo do que pode ser visto, percebido, observado e concebido.

Dessa forma, as TIC contribuem sobremaneira para a melhoria das pesquisas científicas, tornando ágeis os processos, possibilitando o armazenamento de grandes volumes de informações e conhecimento gerados pelas pesquisas e, mais recentemente, diminuindo distâncias e facilitando a comunicação e a colaboração entre os pesquisadores.

A GCC vem despertando interesse de diversas comunidades científicas, como as de Administração, Ciência da Informação e Ciência da Computação. Programas de Pesquisa & Desenvolvimento sobre ciência mediada pela tecnologia vêm merecendo investimento de diversas organizações. Em Ciência da Computação, os diversos aspectos de infra-estrutura computacional de apoio à atividade científica vêm sendo tratados naquilo que se convencionou chamar de *e-Science*.

Entre as diversas iniciativas em *e-Science*, destaca-se o Projeto GSD (*Grid Shared Desktop*), financiado pela Comunidade Européia através do programa *Information Society Technologies* – Projeto ELeGI<sup>9</sup>. GSD é um ambiente de colaboração que fornece uma interface homem-máquina-homem multidimensional por meio de múltiplos desktops inter-relacionados. Trata-se de uma solução independente de plataforma que se beneficia das vantagens da tecnologia de Grid como escalabilidade e segurança, e que busca solucionar o problema da colaboração remota entre pessoas. O benefício imediato do GSD é reunir o tempo e o espaço do trabalho colaborativo em um ambiente compartilhado (CERRI et al., 2006).

No Brasil, alguns projetos merecem destaque, como o Projeto e-Science<sup>10</sup>, da Unicamp e o projeto GCC (OLIVEIRA et al., 2005) da COPPE/URFJ que buscam a disponibilização de ambientes computacionais de compartilhamento onde os pesquisadores podem trocar dados, experiências, idéias, e buscar informações para a execução de suas tarefas, tomar decisões, aprender e disseminar conhecimento.

Uma das iniciativas brasileiras de trabalho integrado e interdisciplinar é o Programa de Pesquisas em Conservação Sustentável da Biodiversidade - Programa Biota/FAPESP<sup>11</sup>. Iniciado em 1999, sua finalidade era sistematizar a coleta, organizar e disseminar informações sobre a biodiversidade do Estado de São Paulo, definindo os mecanismos para sua conservação, seu potencial econômico e sua utilização sustentável. Após análise do material levantado e da forma como se estava trabalhando, foi realizado um *Atlas* da região que é constantemente alimentado *on-line*, com acesso público e, montado para ser conectado com outras iniciativas no Brasil e no exterior.

Atividades científicas nos moldes descritos envolvem recursos heterogêneos distribuídos geograficamente, tais como sistemas computacionais, instrumentos científicos, bases de dados, sensores, componentes de software, redes, e pessoas.

Dentre as áreas de investigação em TIC concernentes ao tema *e-Science*, podem ser citadas: *grid* computacional, Web, bibliotecas digitais, *Computer-Supported Collaborative Work* (CSCW).

---

<sup>9</sup> <http://www.elegi.org>

<sup>10</sup> <http://www.e-science.unicamp.br>

<sup>11</sup> <http://www.biota.org.br>

Na Amazônia, três programas de pesquisa se destacam: Rede Temática de Pesquisa em Modelagem da Amazônia – Rede GEOMA<sup>12</sup>, Programa de Pesquisa em Biodiversidade/CENBAM/INCT<sup>13</sup> – PPBio<sup>14</sup>, Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA<sup>15</sup>.

## **A - O Conhecimento Científico**

Iniciativas de gestão do conhecimento devem necessariamente considerar as características do ambiente no qual são implementadas. Tais características dizem respeito, principalmente, à natureza do conhecimento – bem como as forças que condicionam a sua criação – a cultura que envolve os indivíduos e o seu comportamento em relação à informação e ao conhecimento. Além disso, devem levar em conta, sobretudo, as peculiaridades dos processos de comunicação próprios do ambiente no qual as iniciativas serão implementadas. Desse modo, é imprescindível observar que comunidades de naturezas distintas requerem modelos de gestão do conhecimento que atentem para as suas especificidades. Portanto, a partir das características do contexto no qual se pretende desenvolver a gestão do conhecimento – organizações empresariais, administração pública, ambiente acadêmico ou outros –, deverão ser delineados modelos de gestão do conhecimento apropriados a cada um deles (LEITE e COSTA, 2007).

O conhecimento científico explícito pode ser definido como toda a forma de conhecimento científico codificado, facilmente estruturável e que tem possibilidade de ser comunicado por sistemas estruturados ou meios formais de comunicação. Compreende, então, todas as formas de literatura científica, avaliadas ou não. O conhecimento científico tácito, por sua vez, refere-se ao que pode ser entendido como o conhecimento ou habilidade que pode ser passada entre especialistas por contatos pessoais, mas difícil de ser exposto ou passado em fórmulas, diagramas, descrições verbais ou instruções para ação (COLLINS, 2001). Neste sentido, é o conhecimento baseado também na informação científica, contudo está relacionado com a experiência e a competência do pesquisador, portanto de difícil sistematização e representação. Diz respeito àquele conhecimento que é mais bem transferido e assimilado informalmente. Somente parte do conhecimento científico tácito é possível ser formalizada. Quando há o compartilhamento do conhecimento científico tácito, há necessariamente a utilização da comunicação informal. Por esta razão, é atribuído à

---

<sup>12</sup> <http://www.geoma.lncc.br>

<sup>13</sup> Centro de Estudos Integrados da Biodiversidade Amazônica (CENBAM), é um Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) com sede no INPA, responsável pela gestão do PPBio

<sup>14</sup> <http://ppbio.inpa.gov.br>

<sup>15</sup> <http://lba.inpa.gov.br>

comunicação científica informal grande importância na produção do conhecimento científico. A relação entre conhecimento científico tácito e comunicação informal é explorada com maior profundidade em (LEITE, 2006).

A partir da interação entre conhecimento científico explícito – o conhecimento científico registrado, a literatura científica – e o conhecimento científico tácito – aquilo que os especialistas sabem, aprenderam e é comunicado por meios impessoais, e não estruturados –, torna-se viável a criação de um novo conhecimento científico. A díade conhecimento tácito e explícito nos remete inicialmente a Michael POLANYI (1966), referindo-se inicialmente ao próprio conhecimento científico. Entretanto, a teoria de criação do conhecimento a partir das duas dimensões diz respeito ao modelo construído por NONAKA e TAKEUCHI (1997), responsáveis pela ampla disseminação dos conceitos de conhecimento tácito e explícito, por meio da abordagem de gestão do conhecimento.

Uma das propostas desta pesquisa consiste justamente em estruturar e organizar o conhecimento científico tácito encontrado na mente do *especialista* mas que não está nas bases de dados estruturadas das instituições acadêmicas e de pesquisa. Estas bases estruturam apenas o conhecimento científico explícito.

### **2.1.5 Aquisição do Conhecimento (AC)**

Aquisição do Conhecimento pode ser definida como o processo de compreender e organizar o conhecimento de várias fontes. A AC é a atividade inicial do processo de Engenharia de Conhecimento e a mais difícil. Essa dificuldade se dá em virtude da inexistência de uma metodologia eficiente, confiável e padrão para extração e organização do conhecimento das várias fontes. (COSTA e SILVA, 2007).

As fontes de conhecimento usadas no processo de AC podem ser documentadas ou não. As fontes documentadas são: livros, filmes, gráficos, diagramas, manuais, entre outras. Já as fontes não documentadas residem na mente das pessoas que atuam no domínio de aplicação.

Ao utilizar fontes documentadas o engenheiro de conhecimento encontra a dificuldade relativa a ter que conhecer o domínio do problema para poder compreender o conteúdo da documentação. Assim o engenheiro de conhecimento acaba tendo que recorrer aos agentes do domínio, os quais são pessoas que trabalham diretamente com o assunto em questão. Mas em quase todos os domínios há um agente que se destaca por desenvolver métodos particulares e eficientes de lidar com os problemas e ainda por possuir um conhecimento profundo sobre o assunto. Esse agente é o especialista. Especialistas desenvolvem estruturas de armazenamento

de informações particulares que são mais enxutas e eficazes para lidar com informações de um domínio específico. Dessa maneira um especialista é a melhor fonte de informações para um processo de AC.

Há muitos fatores que causam problemas na AC, quando se tenta extrair conhecimento de especialistas. Um problema inicial é a comunicação entre o especialista e o engenheiro de conhecimento. O Engenheiro pode começar uma série de entrevistas sem ter boa noção do assunto em questão. O ideal é que ambos, o engenheiro de conhecimento e o especialista, aprendam um pouco sobre o trabalho do outro para que a conversa flua mais naturalmente.

Algumas estratégias de resolução de problemas usadas por especialistas estão tão arraigadas na mente desses profissionais que só são ativadas em situações reais de aplicação de um trabalho, por isso elas quase sempre não são transmitidas para os engenheiros de conhecimento nas entrevistas.

Outra dificuldade é que em alguns casos o especialista sabe resolver um problema, mas não sabe explicar como ou porque resolveu daquela maneira. Isso ocorre porque o conhecimento utilizado para resolver o problema é tácito. No entanto, explicitar um conhecimento que está arraigado em uma mente é uma tarefa que oferece bastante dificuldade, pois, muitas vezes, as pessoas possuem conhecimentos que nem mesmo sabem que tem.

Há ainda o fato de que algumas pessoas sentem-se intimidadas no processo de entrevistas e acabam omitindo algumas informações importantes para a construção da base de conhecimento (BC).

Um outro problema é que especialistas são profissionais valiosos e requisitados em uma empresa, assim é bastante difícil tê-los comprometidos plenamente com o desenvolvimento de um SE.

O processo de aquisição de conhecimento é usualmente dividido em três estágios: decisão de qual conhecimento é necessário (equivalente a definição ou análise inicial), obtenção de conhecimento predominantemente vindo de especialistas humanos e interpretação deste conhecimento (usualmente chamado de Elicitação do Conhecimento) e, por fim, codificação do conhecimento na linguagem interna do sistema (usualmente chamada Representação do Conhecimento). (DIAPER, 1989).

## **A - Técnicas de Aquisição de Conhecimento**

Muitos esforços têm sido feitos para sistematizar ou até mesmo automatizar o processo de AC. Estes esforços resultaram em várias técnicas. Essas técnicas podem ser classificadas em manuais, semi-automáticas e automáticas. As técnicas manuais são as mais utilizadas, as semi-automáticas geralmente são utilizadas em conjunto com as técnicas manuais, já as técnicas automáticas dizem respeito ao processo pelo qual o conhecimento é adquirido automaticamente, ou seja, sem a interferência humana, ou com pouca interferência. As técnicas automáticas são uma vasta área e não contemplam o escopo desse trabalho (REZENDE, 2003).

## **B - Elicitação do Conhecimento (EC)**

Alguns autores, como Elizabeth Cordingley e Nancy Johnson (DIAPER, 1989), consideram a Elicitação do Conhecimento como um estágio do processo de aquisição de conhecimento, o que traz tanto vantagens como desvantagens. A EC é considerada consistente com o paradigma da decomposição sucessiva de problemas difíceis em problemas solucionáveis e tarefas grandes em pedaços gerenciáveis, provendo vantagens de modularidade e fazendo senso em termos humanos. Para sistemas baseados em conhecimento (SBCs) a estratégia de decomposição é apropriada, fazendo senso conceitual e ajudando no desenvolvimento gerencial.

Elicitação de conhecimento é um conjunto de atividades realizadas por uma pessoa, o elicitante de conhecimento, para obter material de alguma fonte relevante, analisar e interpretar o material, e colocá-lo sob uma forma pré-codificada. Portanto, a EC pode ser decomposta em três estágios: obtenção de conhecimento, interpretação e análise, e pré-codificação.

As fontes potenciais de conhecimento são os especialistas humanos (principal fonte), livros-texto, bancos de dados, documentos com relatos de experiências e estudos, a experiência pessoal do engenheiro do conhecimento (WATERMAN, 1986).

Quando a fonte de conhecimento é uma pessoa, a atividade é essencialmente um empreendimento social que requer cooperação entre o elicitante (geralmente o engenheiro de conhecimento) e o provedor de conhecimento. Ambas as partes interpretam a situação como sua progressão e ajustam suas respostas para tornarem-se apropriadas.

Outras fontes potenciais de conhecimento são documentos, livros-texto, banco de dados, manuais, questionários, anotações pessoais e outros artefatos que possam informar algo sobre a tarefa (CARRICO et al., 1989).

Há uma variedade de técnicas utilizadas para obter conhecimento. Elizabeth Cordingley (DIAPER, 1989), cita vários tipos de técnicas para eliciação do conhecimento, a partir de pessoas e outras fontes, a saber: entrevistas, discussão dirigida, *teach back*, eliciação construtiva, classificação de tarefas, escalonamento, 20 questões, geração de matriz, julgamento, protocolos, desempenho de papéis, simulações. TUTHILL (1990) considera apenas as seis maiores classes de técnicas comumente usadas. Além das já citadas (entrevistas e protocolos), ele descreve as técnicas de programação neurolinguística (NLP), *Traits*, análise e aquisição automatizada (TUTHILL, 1990).

CHORAFAS (1990) descreve como mais importantes metodologias usadas: entrevistas, sessões de gravação, observação do especialista em seu trabalho, cenário próprio (*Self Service Scenario*), modelo causal para inferência e indução automática de regras (CHORAFAS, 1990).

Diante disso, pode-se dizer que a entrevista é um consenso entre os autores como um dos métodos mais usados. Embora sendo a mais comum, nem sempre é a melhor ou mais adequada técnica de eliciação de conhecimento (TUTHILL, 1990).

### **2.1.6 Representação do Conhecimento (RC)**

Problemas relacionados com a representação de conhecimento não surgiram com o advento dos computadores digitais. Há séculos têm sido estudados pelos filósofos, cujos trabalhos jamais puderam ser ignorados pelos cientistas da computação. A representação do conhecimento pode ser definida como sendo o conjunto de sentenças em uma linguagem formal para a qual foram definidas uma semântica e um conjunto de regras de inferência capazes de gerar novas sentenças a partir das sentenças disponíveis. Uma boa representação torna explícitos os objetos e relações importantes e expõe as restrições internas inerentes ao problema (BRACHMAN, 1990).

A representação do conhecimento está sempre relacionada com as formas de expressão da informação. Diferentes sistemas de representação podem ser mais adequados para diferentes problemas, embora ainda existam muitas pesquisas no sentido de desenvolver sistemas e linguagens de representação de propósito geral. Geralmente, a questão central é: como representar o conhecimento de modo formal sem considerar como ele será utilizado ?

Entretanto, a maioria das pesquisas atuais sustentam amplamente que é inútil considerar uma representação, sem considerar o raciocínio que será realizado sobre a mesma. Assim, a área de *Representação de Conhecimento* tem sido claramente padronizada para

*Representação de Conhecimento e Raciocínio*. Como resultado, as pesquisas estão enraizadas no estudo das lógicas em geral, onde sintaxes formais de linguagens são acompanhadas por regras de inferência e interpretações (SOWA, 1999; BRACHMAN e LEVESQUE, 2004).

É importante considerar que uma linguagem de representação de conhecimento não deve ser caracterizada somente em termos de sua adequação mas também em termos de sua eficácia computacional. Assim, uma representação não deve meramente prescrever como trechos individuais de informações são representados, mas deve especificar como a totalidade da informação é estruturada e organizada de modo que as informações relevantes possam ser recuperadas e que as inferências adequadas apresentem um nível aceitável de eficiência (SHASTRI, 1991). A RC organiza e estrutura o conhecimento.

As características desejáveis de uma RC são:

- Definir explicitamente os objetos e relações;
- Expor restrições naturais (expressar a forma como um objeto ou relação influencia um(a) outro(a));
- Mostrar objetos e relações juntos, permitindo que as informações necessárias sejam facilmente identificáveis;
- Suprimir detalhes irrelevantes (detalhes raramente utilizados podem ser postos de lado, mas podem ser obtidos quando necessários).

Uma boa RC deve ser *transparente*, permitindo o entendimento do que está sendo dito; *rápida*, possibilitando o armazenamento e a recuperação de informações em tempo aceitável; *computável*, possibilitando a sua criação através de um procedimento computacional existente.

Algumas estruturas são utilizadas para representação do conhecimento, a saber: lógica; redes semânticas; *frames*; *scripts*; regras de produção; ontologias, entre outras. As ontologias são de particular interesse neste trabalho para organizar, estruturar e assim representar o conhecimento.

Existem duas tradicionais abordagens ou metodologias que direcionam as pesquisas em representação do conhecimento. A representada por John McCarthy, que tenta adaptar os problemas de IA à um mundo sistematizado da lógica simbólica, onde seu principal interesse é a maneira de representar relações e características de um problema através do uso de expressões da lógica simbólica e também ampliar o limite das possibilidades para estes tipos de expressões (NAGAO, 1990). E a representada por Marvin Minsky, que afirma que o

comportamento do cérebro humano é muito complexo para ser expresso dentro da lógica simbólica. Ele criou os *frames* como uma combinação de ferramentas e métodos que podem descrever as atividades do cérebro humano sem permanecer confinado à lógica simbólica (MINSKY, 1986). A lógica simbólica é geralmente referida como abordagem declarativa, enquanto esta última abordagem é chamada de mista.

Certamente existem várias outras questões envolvidas neste debate, embora seus participantes concordem que o objetivo principal da pesquisa é que os computadores devem, de uma maneira ou de outra, “conhecer” muito do que cada ser humano conhece sobre o mundo e sobre os organismos, naturais ou artificiais, que nele habitam (ISRAEL, 1983).

Tem havido muitas controvérsias sobre qual destas duas estruturas de representação é a melhor. Não há uma resposta precisa, até porque a própria distinção entre as duas formas não é clara. Entretanto, existe uma concordância em que a maioria dos domínios requer a utilização de ambos os tipos de informações. Assim, na prática, a maioria das representações emprega uma combinação destas duas abordagens. Em um processo de representação de conhecimento, a forma correta a ser empregada dependerá do conhecimento a ser representado e dos propósitos de utilização deste conhecimento.

### **2.1.7 Ontologias**

O termo tradicional relacionado é a palavra *categoria*, utilizada para designar o ato de classificar e caracterizar alguma coisa (SOWA, 1999). Aristóteles apresenta as categorias como a forma de classificar qualquer entidade e introduz o termo *differentia*, para propriedades que distinguem diferentes espécies do mesmo gênero.

A definição de Ontologia dentro do contexto da Ciência da Computação e da Ciência da Informação ainda não está consolidada, porém, vem sofrendo aprimoramentos à medida que desperta o interesse de um número crescente de pesquisadores da área. Ontologias têm sido aplicadas em diversas áreas, como IA, Engenharia de Software, Web Semântica (WS), possibilitando a criação de modelos conceituais claros, concisos e não ambíguos. Geralmente se refere à especificação de alguma conceitualização. Uma definição para ontologias amplamente citada na literatura de IA é a de Gruber: *Uma ontologia é uma especificação explícita de uma conceitualização*<sup>16</sup>. (GRUBER, 1993)

---

<sup>16</sup> Apesar de o termo não existir no português, ele será aqui adotado, por sua especificidade na área de IA. O termo mais próximo no português, “conceituação”, definido no Dicionário Aurélio como “ato ou efeito de conceituar”, não corresponde à definição do termo “conceitualização” introduzido por (GENESERETH e NILSSON, 1987): a coleção de entidades que se

Borst entende que uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada. Nessa definição, *formal* significa legível por computadores; *especificação explícita* diz respeito a conceitos, atributos, relações, restrições e axiomas que são explicitamente definidos; *compartilhado* quer dizer conhecimento consensual; e *conceitualização* diz respeito a um modelo abstrato de algum fenômeno do mundo real (BORST, 1997).

Ontologia também pode ser definida como um conjunto hierarquizado de conceitos que descrevem um domínio específico de conhecimento que pode ser usado para criar uma base de conhecimento (BLOMQVIST e SANDKUHL, 2005; WENNERBERG, 2005).

Na descrição de Blomqvist e Sandkuhl (2005), são dadas algumas informações a respeito da estrutura de uma ontologia, pois conforme essa descrição, uma ontologia deve possuir um conjunto de conceitos (termos) organizados com uma hierarquia associada, ou seja, uma taxonomia. Outro detalhe dessa descrição é apresentar uma das principais utilidades de uma ontologia que é a de servir como um esquema para uma base de conhecimentos, visão essa muito comum dentro do ramo da gestão de conhecimentos.

Vale a pena ressaltar que a descrição acima faz uma distinção importante sobre o que é uma ontologia e o que é uma base de conhecimentos. Uma ontologia provê uma estrutura básica na qual logo acima se pode construir uma base de conhecimentos. A ontologia fornece um conjunto de conceitos e termos para descrever um determinado domínio, enquanto a base de conhecimento usa esses termos para descrever uma determinada realidade. Caso essa realidade seja modificada a base de conhecimentos será modificada, porém a ontologia permanecerá inalterada, desde que o domínio se mantenha inalterado.

Existem discussões teóricas detalhadas sobre o conceito de ontologias, na literatura de Ciência da Computação (GUARINO e GIARETTA, 1995; ALBERTAZZI, 1996; NECHES, 1991; WACHE et al., 2001; USCHOLD e GRUNINGER, 1996; CHANDRASEKARAN et al., 1999; GUARINO, 1997; GUARINO, 1998; GUIZZARDI, 2007; GUIZZARDI e WAGNER, 2005; GUIZZARDI, 2005; EMBLEY et al., 1998).

---

assume existir em alguma área de interesse e os relacionamentos entre elas. Uma conceitualização é uma visão abstrata e simplificada do mundo que se deseja representar. Escolher a conceitualização é o primeiro passo para a representação do conhecimento.

Mesmo sem um consenso sobre sua definição, ontologias compartilham características comuns e impulsionam o desenvolvimento de diversos trabalhos referentes à metodologias, ferramentas, linguagens e aplicações.

Ainda que similar ao conceito de modelo conceitual, dentro do contexto específico de BD, também existe diferença entre uma ontologia e um modelo conceitual. Um modelo conceitual descreve, dentre outras coisas, a estrutura dos dados do BD em um alto nível de abstração. A ontologia enfoca especialmente a extensão de definições de relacionamentos e conceitos e apresenta o objetivo explícito de compartilhar conhecimento através da definição de uma estrutura teórica comum e de um vocabulário de modo que os agentes interessados possam desenvolver e compartilhar um propósito ontológico particular (GRUBER, 1993). Uma ontologia não representa a estrutura das fontes de dados associadas a ela, apenas propõe uma estrutura de consenso para conceitos e relações que são úteis para grupos de usuários, sendo essa estrutura instanciada pelo BD. Assim, uma ontologia é um mecanismo de interpretação parcial ou total do universo de dados de uma ou mais fontes, não existindo obrigatoriamente uma correspondência direta entre possíveis estruturas implícitas ou explícitas dessas fontes e a estrutura da ontologia. Nesse sentido, uma ontologia é desenvolvida não com a finalidade de definir a estrutura de um BD e sim visando definir um vocabulário de trabalho para um grupo de usuários.

Nas sub-seções a seguir, serão abordados os seguintes temas: componentes de ontologias de domínio; características de ontologias; classificação de ontologia; formalismo para expressar ontologias textualmente; aplicabilidade de ontologias; problemas no uso de ontologias.

## **A - Componentes**

Ontologias de domínio compartilham muitas similaridades estruturais, independentemente da linguagem em que são expressas. A maioria das ontologias descrevem indivíduos (instâncias), classes (conceitos), atributos e relações.

Componentes comuns de ontologias de domínio incluem (PINTO et al., 1999): indivíduos, classes, atributos, relações, termos de função, restrições, regras, axiomas, eventos, vocabulário.

A ontologia fornece ao engenheiro do conhecimento um vocabulário para expressar o domínio, através de seus termos, e um núcleo de conhecimento, fornecido por seus axiomas.

## **B - Características**

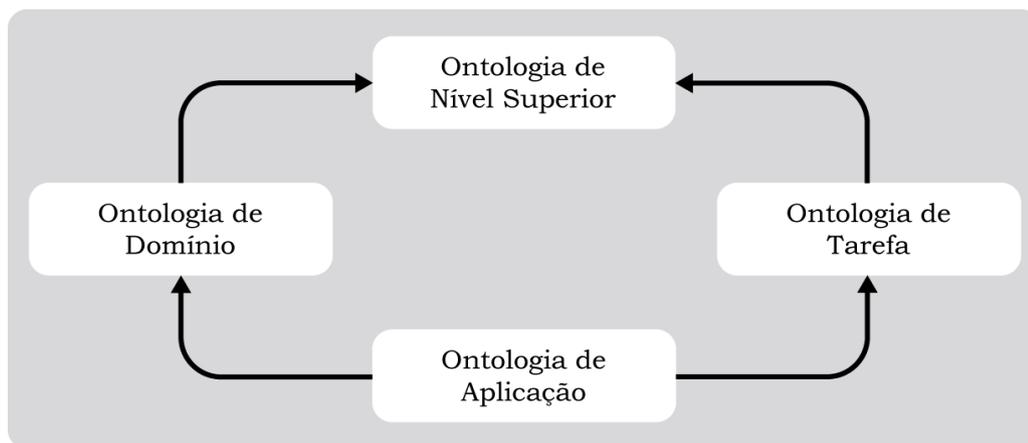
Um aspecto importante associado a ontologias é o reuso de conhecimento definido em ontologias já existentes. Este fator afeta o desenvolvimento de ferramentas e metodologias, exigindo que existam mecanismos de tradução entre formalismos de representação e a definição de níveis de reuso. Nesse sentido, é interessante desenvolver amplas ontologias, contendo conhecimento de *sensu comum* e uma capacidade de aumentar esse conhecimento através da recuperação de fontes de dados *on-line*.

Algumas características fundamentais devem ser consideradas na construção de uma ontologia (PINTO, 2000): aberta e dinâmica; escalável e interoperável; de fácil manutenção; semanticamente consistente; independente de contexto

## **C - Classificação**

Uma ontologia pode ser classificada segundo dois critérios: nível de detalhe e nível de dependência (GUARINO, 1998). No primeiro caso, quanto mais detalhada for a ontologia, mais ela se aproxima do significado pretendido do vocabulário, porém, exige uma linguagem de representação mais rica e é de difícil integração com outras ontologias (associada a conceitos, não vinculada à uma linguagem). Ontologias detalhadas são chamadas ontologias *off-line*, pois não são compartilhadas. Por outro lado, se a ontologia é simples, já é desenvolvida tendo em mente o compartilhamento e o reuso por diversos grupos de usuários, sendo uma ontologia *on-line*. Um exemplo de ontologia pode ser uma especificação de *Thesaurus* (fortemente dependente da linguagem), que pode ser utilizado por aplicações que desejam aproveitar seus tipos de relacionamento.

Quanto ao nível de dependência, existem quatro tipos de ontologias, cujo relacionamento de especialização entre elas é mostrado na Figura 5. Uma ontologia de nível superior ou de fundamentação descreve conceitos muito gerais, como espaço, tempo, objeto, assunto, ação, etc, de um domínio ou problema particular. Uma ontologia de domínio e uma ontologia de tarefa descrevem um vocabulário para um domínio genérico (como medicina ou automóveis) e para uma tarefa ou atividade genérica (como diagnóstico ou venda), respectivamente, especializando termos da ontologia de nível superior. Uma ontologia de aplicação depende tanto de um domínio quanto de uma tarefa particular, sendo uma especialização de ambas.



**Figura 5** - Tipos de ontologias segundo seu nível de dependência em relação à uma tarefa ou ponto de vista particular. Fonte: Traduzido de (GUARINO, 1998).

Pode existir ainda o conceito de ontologia de representação, que descreve metadados necessários à definição de outros tipos de ontologia. Esse tipo de ontologia pode ser usada ainda no processo de integração de ontologias, como uma tradutora entre especificações feitas em linguagens de representação diferentes.

## **D - Formalismo**

Um aspecto a ser considerado sobre a construção de ontologias diz respeito à escolha de uma linguagem para expressá-las. A princípio, qualquer linguagem de representação de conhecimento formal, ou até mesmo informal, pode ser usada para expressar ontologias textualmente (FALBO, 1998). Na prática, no entanto, apenas algumas poucas linguagens têm sido utilizadas para esse fim, entre elas (VALENTE, 1995): KL-ONE (BREUKER e VAN DE VELDE, 1985); Lógica de Primeira Ordem; KIF (*Knowledge Interchange Format*) (GRUBER, 1992); Ontolingua (GRUBER, 1992); CML (*Conceptual Modelling Language*) (BRACHMAN e SCHMOLZE, 1994); OntoUML (GUIZZARDI, 2005); Ontology Web Language – OWL (W3COWL, 2009; MOTIK et al., 2009); Description Logic (RUSSELL e NORVIG, 2010); .

Todas estas linguagens possuem vantagens específicas e acomodam um número de compromissos ontológicos. A escolha de uma particular linguagem deve ser feita com base na sua adequação aos propósitos de representação da ontologia.

## **E - Aplicabilidade**

Ontologias têm sido aplicadas na área de IA para (GUARINO, 1997): processar linguagem natural (EVERETT et al., 2002); nos sistemas de gestão do conhecimento que lidam com a

aquisição, manutenção e acesso ao conhecimento; na adoção das tecnologias da Web Semântica e de ontologias na representação de dados (STAAB, 2006; FEIGENBAUM et al., 2007); na integração de dados baseada em ontologia (LENZERINI, 2002); no comércio eletrônico com o uso de ontologias compartilhadas como base para a interoperação entre parceiros de negócios em mercados eletrônicos; na interoperabilidade de ontologias (combinação (NOY e MUSEN, 1999); alinhamento (NOY e MUSEN, 1999); mapeamento (NOY e MUSEN, 2003); e integração de ontologias (PINTO et al., 1999)).

## **F - Problemas no Uso de Ontologias**

O uso de ontologias também apresenta problemas. O'Leary identificou as seguintes dificuldades (O'LEARY, 1997): (i) A escolha de uma ontologia é um processo político, já que nenhuma ontologia pode ser totalmente adequada a todos os indivíduos ou grupos. (ii) Ontologias não são necessariamente estacionárias, isto é, necessitam evoluir, atualização. (iii) Estender ontologias não é um processo direto. Ontologias são, geralmente, estruturadas de maneira precisa e, como resultado, são particularmente vulneráveis a questões de extensão, dado o forte relacionamento entre complexidade e precisão das definições. Neste contexto, este trabalho caracteriza um instrumento facilitador e de suporte aos processos de extensão de ontologias. (iv) A noção de bibliotecas de ontologias sugere uma relativa independência entre diferentes ontologias. A interface entre elas constitui, portanto, mais um impedimento, especialmente porque cada uma delas é desenvolvida no contexto de um processo político. Ontologias desenvolvidas independentemente podem não se integrar efetivamente com outras por vários motivos, desde similaridade de vocabulário até visões conflitantes do mundo, o que compromete a questão de reuso (FALBO, 1998).

A literatura oferece poucos trabalhos no que diz respeito a metodologia de desenvolvimento de ontologias. Não há uma sistematização efetiva.

O formato no qual ontologias são desenvolvidas representa também um obstáculo para o seu uso (linguagens utilizadas para representação textual equivalente). Muitas ontologias são distribuídas em um formato de código fonte na linguagem de representação, o que não permite que usuários naveguem através da ontologia para compreender seu escopo, estrutura e conteúdo. Além disso, a falta de tradutores entre linguagens representa outro sério obstáculo. Muitas das linguagens utilizadas não foram desenvolvidas para este propósito específico.

Construir ontologias de domínio ainda hoje se constitui em uma tarefa desafiadora. O processo continua sendo, manual e o projeto da ontologia, uma tarefa técnica que requer um

especialista do domínio e um projetista de ontologias. Na maioria das vezes não se sabe quais conhecimentos tais ontologias devem conter e quais princípios de projeto devem seguir.

Finalmente, não há ainda um consenso quanto à avaliação da qualidade de ontologias. Apesar de existirem indicações de critérios a serem adotados, ainda não há métricas e procedimentos estabelecidos para a avaliação da qualidade de ontologias. Assim, torna-se bastante difícil assegurar que uma ontologia desenvolvida é completa o suficiente para representar com fidelidade o universo de discurso em questão.

### **2.1.8 OntoBio, uma Ontologia de Domínio de Biodiversidade**

A OntoBio, uma ontologia formal<sup>17</sup> aplicada a dados de biodiversidade (ALBUQUERQUE, 2011), constitui um importante ponto de partida para a adoção da aplicação de ontologias formais à aquisição de conhecimento neste domínio. Foi modelada conceitualmente por meio de linguagem OntoUML e da UFO (GUIZZARDI et al., 2015b) e para desenvolvê-la foi aplicado o método SABIO (FALBO, 2004; FALBO et al., 1998).

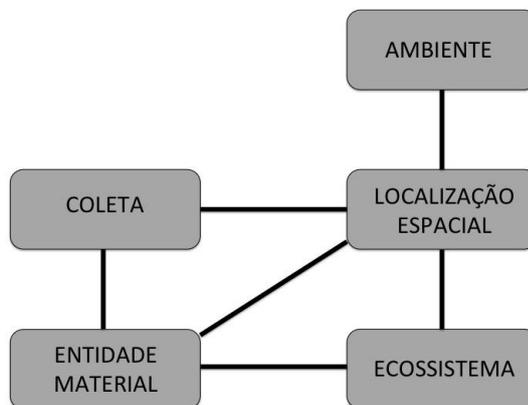
Esta ontologia promove a integração de bases de dados de biodiversidade incorporando semântica a estes dados que já estão providos de sintaxe e estruturação (conhecimento explícito). É uma especificação parcial do domínio objeto de estudo, que descreve basicamente conceitos, relações entre conceitos e regras de integridade. Gera uma base de conhecimento modular, para orientar a aquisição de dados específicos, permitindo também o reuso e o compartilhamento do conhecimento gerado através destes dados. O mecanismo de integração das bases de dados da OntoBio é realizado via Bases de Dados de Biodiversidade Estruturadas (BDEs), que constituem dados de sistemas de informações de biodiversidade, de coleções e experimentos científicos, de documentos Web, de coletas de campo, inventários, de pesquisa e resultados a partir de repositórios de vários domínios, entre outros. Quando incorporadas à OntoBio, estas BDEs são interrelacionadas entre si permitindo o compartilhamento e a troca de informações.

A OntoBio está dividida em cinco sub-ontologias (ALBUQUERQUE et al., 2015). Estas ontologias são complementares umas às outras e relacionadas constituem a ontologia de Biodiversidade (Figura 6). Estas sub-ontologias estão conectadas por relações entre seus conceitos, bem como por axiomas formais. Estes axiomas respondem às questões de

---

<sup>17</sup> Utiliza uma linguagem formal para representação da ontologia (GUARINO, 1997,1998).

competência que norteiam a definição desta ontologia, a fim de permitir: uma rica expressividade semântica que não pode ser alcançada apenas com o uso do modelo gráfico; as inferências (pela codificação da ontologia); uma avaliação da fidedignidade do apresentado com o propósito da ontologia; validação da ontologia; e identificação de inconsistências.



**Figura 6** - Esquema simplificado da ontologia de biodiversidade, OntoBio [2]<sup>18</sup>.

As sub-ontologias da OntoBio são:

- (i) Coleta. Captura a estrutura de um protocolo de coleta em um alto nível de abstração.
- (ii) Entidade Material. Conceitualiza as entidades materiais que fazem parte de uma coleta. A sub-ontologia Entidade Material generaliza duas Sub-Ontologias: Entidade Abiótica e Entidade Biótica.
  - a. Entidade Biótica. Categorização de Entidade Material que representa todos os fatores físicos vivos.
  - b. Entidade Abiótica. Categorização de Entidade Material que representa todos os fatores físicos não-vivos.
- (iii) Localização Espacial. Uma Localização Espacial (como informado por um sistema GPS) pode ser especializada em Espaço Geográfico e Ponto Geográfico (latitude, altitude e longitude). Espaço Geográfico pode estar associado a coordenadas geográficas de várias localidades, mas também diferentes Espaços Geográficos podem estar associados a um conjunto particular de coordenadas em diferentes circunstâncias.

---

<sup>18</sup> Verificar referências com índice numérico nas Publicações da Autora, Apêndice A.

- (iv) **Ecosistema.** Conceitualiza as relações do ecossistema no escopo do protocolo de coleta de dados de biodiversidade adotado no INPA. Um ecossistema é uma unidade natural consistindo de todas as plantas, animais e micro-organismos (fatores bióticos) em uma área funcionando em conjunto com todos os fatores físicos não-vivos (abióticos) do ambiente (CHRISTOPHERSON, 1996). Basicamente, um sistema integrado e auto-funcionante que consiste em interações dos elementos bióticos e abióticos e cujas dimensões podem variar consideravelmente. A relação entre os elementos bióticos (“animados”) e abióticos (“inanimados”) em um ecossistema depende, principalmente, do fluxo de energia e as escalas são extremamente variadas, podendo-se considerar um pequeno lago, uma poça d’água, uma mata, uma cidade, um poço, ou seja, o importante é a relação nesse meio, podendo ainda conter elementos comuns em ecossistemas variados (ODUM, 1971).
- (v) **Ambiente.** Ambiente (do latim ambiente, com o sentido do que envolve os corpos por todos os lados<sup>19</sup>) é o conjunto das substâncias, circunstâncias ou condições em que existe determinado objeto ou em que ocorre determinada ação. Este termo tem significados especializados em diferentes contextos. Em biologia, inclui tudo o que afeta diretamente o metabolismo ou o comportamento de um ser vivo ou de uma espécie, incluindo a luz, o clima, a água, as fases da lua, o solo ou os outros seres vivos que com ele coabitam.

Código, modelagem, imagens e documentos da OntoBio estão disponibilizados em [portal.inpa.gov.br/ctin/lis/frameworkconceitual/](http://portal.inpa.gov.br/ctin/lis/frameworkconceitual/) e também em <http://www.menthor.net/ontobio.html>

## **2.2 Referencial Teórico**

O referencial teórico relaciona-se à seleção do significado de cada conceito chave tratado na pesquisa e, em consonância com a linha de pesquisa e teoria adotadas pelo autor. A seguir serão apresentados os principais conceitos relacionados e adotados a esta pesquisa especificamente.

### **2.2.1 Elicitação do Conhecimento**

Descrever e documentar conhecimento são processos que têm ganho importância nas últimas

---

<sup>19</sup> Dicionário Michaelis.

quatro décadas. Primeiro, psicólogos e pesquisadores de IA, que há muito se interessam pela forma como o conhecimento é representado e o processo geral que opera nesta representação, têm se interessado no conteúdo do conhecimento. Ainda, este grupo tem concluído que conhecimento representa poder e que representações generalizadas e estratégias de busca são limitadas em suas habilidades para capacitar inteligência às máquinas (COOKE, 1994). Segundo, a documentação do conteúdo do conhecimento é essencial para a educação, treinamento e seleção de pessoal, fazendo com que as análises de desempenho de trabalhos tenham foco em tarefas subjacentes ao conhecimento e habilidades cognitivas. Adicionalmente, um número de aplicações computacionais dependentes de conhecimento surgiram ao longo do tempo, tais como sistemas inteligentes de tutoria, modelagem de usuário, interfaces homem-máquina inteligentes e adaptativas, e sistemas especialistas. A última aplicação, utiliza conhecimento especialista com o propósito de desempenhar solução de problemas complexos e tarefas de tomada de decisão desempenhadas tipicamente por especialistas. Sistemas especialistas são importantes uma vez que especialistas são escassos, caros e algumas vezes até inconsistentes, e continuam motivando muito das pesquisas direcionadas à eliciação do conhecimento no contexto da engenharia do conhecimento.

Atualmente, os esforços empregados na engenharia de conhecimento são muito mais amplos do que simplesmente o desenvolvimento de sistemas especialistas. Com o advento da Web e Web Semântica, o foco de muitos esforços de engenharia do conhecimento mudou (GIL, 2011; SCHREIBER, 2013), e o desenvolvimento de ontologias formais computacionais concentrou a atenção daqueles preocupados com o levantamento, representação e exploração do conhecimento humano. A gestão do conhecimento busca obter o conhecimento correto para as pessoas indicadas no momento oportuno e no formato certo. Estes desafios são considerados difíceis (HAYES-ROTH et al., 1983).

Há consenso acadêmico que o conhecimento tácito agrega semântica a instrumentos estruturantes do conhecimento [7], (OLIVEIRA e CARVALHO, 2008). Isto justifica o interesse no uso de Técnicas de Elicitação de Conhecimento (TEC) para apoiar a evolução do conhecimento tácito em conhecimento explícito como parte do ciclo de criação do conhecimento organizacional (NONAKA e TAKEUCHI, 1995). As técnicas de eliciação de conhecimento apresentadas a seguir podem ajudar neste processo, e podem, portanto, desempenhar um papel importante permitindo que as organizações atinjam seu potencial inovador.

Em muitos casos, o propósito da eliciação do conhecimento é gerar representações de conhecimentos que podem ou não ser exploradas no contexto de sistemas computacionais.

Um dos objetivos, por exemplo, pode ser documentar o conhecimento e experiência relacionada ao trabalho que tem sido desenvolvido dentro de uma organização em dado período de tempo. Além disso, pode haver uma exigência para capturar o conhecimento dos indivíduos que estão prestes a sair de uma organização ou que se aposentaram recentemente. Esses tipos de esforços de elicitación de conhecimento muitas vezes fazem parte de um esforço para preservar o conhecimento e experiência organizacional, tornando o conhecimento disponível para novos funcionários.

Outro objetivo da elicitación de conhecimento e modelagem, mais recentemente, é a criação de ontologias computacionais que podem ser utilizados no contexto da WS. A idéia essencial é que a informação deve ser representada de uma forma comum e com a semântica comum. Isso permite que os dados sejam compartilhados, reutilizados e processados através de aplicativos, empresas e comunidade.

### **A - Elicitación do Conhecimento na Aquisição do Conhecimento**

Ainda que a elicitación do conhecimento seja tipicamente um componente do processo da aquisição do conhecimento, não pode ser considerada o processo em si. O conhecimento também pode ser obtido de documentação escrita, se disponível (ex. manuais de procedimentos, memorandos, cartas, livros textos), em vez de elicitada de fonte humana (CORDINGLEY, 1989). No entanto, na maioria dos casos, um especialista deve ser consultado. Isso ocorre porque não há documentação disponível, ou conhecimento originário da experiência prática no domínio. O foco desta pesquisa, é o conhecimento tácito elicitado na aquisição de conhecimento.

A engenharia de conhecimento identifica dois papéis distintos no processo de elicitación de conhecimento: especialista e analista (WATERMAN, 2004; KENDAL e CREEN, 2006). Um especialista é um indivíduo que possui um conhecimento valioso do interesse de uma organização. Em termos de gestão do conhecimento, a maioria dos funcionários podem ser rotulados como "especialistas", uma vez que possuem conhecimento de valor para uma organização. O segundo papel, de analista, desempenhado neste trabalho pelo engenheiro do conhecimento, é responsável por elicitar o conhecimento do especialista. O analista é de fato uma figura-chave sob a perspectiva da engenharia do conhecimento, por possuir habilidades especiais e conhecimento que lhe permitem elicitar o conhecimento do especialista. O analista atua como um intermediário entre o especialista e seu conhecimento, e uma organização (a base de conhecimento e/ou membros individuais da organização), com o objetivo de facilitar a transferência de conhecimentos entre eles. O papel do analista também abre o caminho para

o uso de uma série de métodos de elicitação de conhecimento que não podem ser exercidos por um perito unicamente e exigem algum tipo de colaboração com os outros indivíduos. Em outras palavras, enquanto GC geralmente discute técnicas que podem ser utilizadas por um detentor do conhecimento proativo (não necessita do engenheiro do conhecimento/analista para a realização do processo de elicitação do conhecimento), EC também considera as técnicas de elicitação de conhecimento reativas para suprir as deficiências de motivação, oportunidade e habilidade de um especialista para elicitar seu próprio conhecimento.

A percepção de que o conhecimento está concentrado no especialista desencadeou interesse em elicitação e representação do conhecimento. Engenheiros do conhecimento logo descobriram, entretanto, que a aquisição de conhecimentos de alta qualidade, a partir de indivíduos para a construção de um sistema sólido e útil, era uma atividade demorada e cara. Levava-se mais tempo para obter conhecimento de especialistas do que escrever o software do sistema especialista. Este problema tornou-se amplamente conhecido como o gargalo da aquisição de conhecimento (HAYES-ROTH et al., 1983), e gerou interesse no desenvolvimento, avaliação e aplicação prática de uma ampla gama de técnicas de elicitação de conhecimento que continuaram ao longo dos anos.

Embora as primeiras conceituações de elicitação de conhecimento definam o processo como de extrair ou minerar conhecimento do especialista, pesquisadores reconheceram a complexidade do conhecimento, as dificuldades na sua elicitação, e as incertezas associadas ao produto final da elicitação do conhecimento. Conceituações mais recentes vêem o processo como um exercício de modelagem (SHADBOLT e SMART, 2015). Desta forma, o resultado da aquisição de conhecimento é um modelo, e como modelo, representa o objeto da modelagem em diferentes graus de exatidão. O processo de elicitação de conhecimento é importante para extrair ou minerar o conhecimento dos especialistas (modelo mental), de tal forma que o engenheiro do conhecimento que desempenhará a função de elicitação no processo de aquisição do conhecimento e o especialista de domínio, trabalhem juntos para fornecer uma representação do domínio do conhecimento, refletindo a realidade em maior ou menor grau.

Considerando a necessidade de envolvimento de especialistas, é tipicamente o caso de que um engenheiro do conhecimento será responsável por elicitar o conhecimento do especialista. O principal desafio é encontrar meios através dos quais o especialista esteja habilitado a comunicar seu conhecimento ao engenheiro do conhecimento. Como estabelecer as condições que permitem aos especialistas comunicar o conhecimento que baseia a sua *expertise*? Este é um problema a ser considerado, mas há uma variedade de circunstâncias que

o tornam mais difícil. Grande parte do poder da perícia humana reside na experiência, adquirida através de anos, e representada como heurística. Muitas vezes, a *expertise* se torna tão rotineira que os especialistas não sabem como realizar tarefas específicas. Em outros casos, o conhecimento necessário para construir um sistema é distribuído em toda a organização e reside nas mentes de um número de peritos.

A aquisição de conhecimento tem sido frequentemente caracterizada como uma barreira no desenvolvimento de aplicações baseadas em conhecimento (FEIGENBAUM e MCCORDUCK, 1984). Cullen e Bryman afirmam que o problema existe apenas nos casos em que o domínio é amplo, complexo e requer conhecimento aprofundado de especialistas indisponíveis (CULLEN e BRYMAN, 1988). Nestas situações, o processo é prejudicado por um número de características dos especialistas e seus conhecimentos. A maioria, entretanto, concorda que aquisição de conhecimento é difícil e crítica para o desenvolvimento de muitas aplicações baseadas em conhecimento (HAYES-ROTH e JACOBSTEIN, 1994).

O problema envolve a abstração de modelos adequados do conhecimento especialista dos dados coletados durante a elicitación. Estes dados são limitados por algumas razões. Muito deste conhecimento é tácito e não está sujeito à introspecção consciente e posterior verbalização. O conhecimento pode ser difícil de ser verbalizado ou até mesmo ser considerado. Devido à sua natureza tácita, a validade de relatos verbais como uma forma de elicitar conhecimento tem sido controversa, uma vez que são considerados em alguns casos incompletos e imprecisos (NISBETT e WILSON, 1977). Ainda que o conhecimento possa ser articulado, o especialista pode estar indisponível e, quando disponível, algumas situações precisam ser consideradas: especialistas podem simplificar ou distorcer o conhecimento quando transmitindo o mesmo para um não-especialista com conhecimento limitado do domínio; em outros casos, por ser tácito, o conhecimento elicitado é um caderno de anotações ou a informação é gerada em tempo real. Nestes casos, o especialista, provê informações imprecisas não intencionalmente, mas na tentativa de satisfazer o engenheiro do conhecimento, comunica qualquer conhecimento que esteja acessível. Ericsson e Simon, entretanto, os considera válidos (ERICSSON e SIMON, 1984).

O trabalho de Ericsson e Simon considera relatos verbais como dado. A idéia de que relatos verbais fornecem informações importantes, mas informais, exigindo verificação por outros dados, tem afetado as formas pelas quais verbalizações são coletadas e analisadas. Se o propósito de obtenção de relatos verbais é principalmente para gerar hipóteses e idéias, os investigadores não precisam se preocupar com questões metodológicas sobre a coleta de dados. Como resultado, há pouca literatura publicada sobre estas questões, a coleta de dados e

os métodos de análise de dados utilizados variam enormemente, e os detalhes desses métodos são relatados superficialmente em publicações de pesquisas que fazem uso de tais dados (ERICSSON e SIMON, 1984).

Desta forma, elicitación de conhecimento desempenha um papel crítico no processo de aquisição de conhecimento. Quanto melhor for o dado coletado no processo de elicitación; e por melhor entende-se dados nos quais são considerados confiabilidade e credibilidade da fonte, escala, integridade, exatidão, relevância, consistência entre fontes, apresentação adequada, confiabilidade (não se considera certificação pois esta pesquisa concentra-se em conhecimento tácito); melhor será o modelo resultante do conhecimento especialista. Contudo, a importância do papel da elicitación do conhecimento levanta uma série de questões. Quais técnicas de elicitación do conhecimento estão disponíveis? Como elas diferem? Quais são suas limitações? Quando uma técnica deve ser preferida à outra? Qual técnica é melhor para uma aplicação particular? Um número de métodos relevantes para elicitación do conteúdo do conhecimento existem, e estão espalhados através de campos como psicologia, gerência de negócios, educação, consultoria, ciência cognitiva, linguística, filosofia, engenharia do conhecimento e antropologia.

Não é apenas a capacidade para elicitación do conhecimento de um especialista que é importante. A alta eficiência do processo de elicitación de conhecimento e sua capacidade para endereçar o gargalo da aquisição de conhecimento deve ser considerada. Idealmente, esta fase do *framework* proposto deve usar técnicas que minimizem o esforço despendido na coleta, transcrição e análise do conhecimento de um especialista.

## **B - O Especialista e seu Conhecimento**

Por ser fonte de grande parte do conhecimento capturado, especialistas de domínio são um foco crítico de atenção para aqueles envolvidos na engenharia do conhecimento. A falta de atenção adequada às diferenças entre especialistas, bem como ao nível de conhecimentos que possuem, pode resultar em um efeito profundo sobre a eficiência do processo de elicitación de conhecimento, bem como a qualidade do conhecimento elicitado.

Um dos primeiros desafios que devem ser abordados em qualquer projeto de engenharia do conhecimento é a identificação de indivíduos com a experiência pertinente ao domínio em questão. Em alguns casos, pode ser óbvio quem são os especialistas de um dado domínio; em outros, no entanto, pode não ser de todo claro como os especialistas devem ser identificados. Fatores como a posse de qualificações profissionais, experiência e posição ocupacional, bem como resultados de testes e processos de triagem, podem ser usados como base para a

identificação dos especialistas; entretanto, cada um destes fatores tem suas restrições. Por exemplo, o cargo ocupado por um indivíduo é normalmente um critério utilizado para a seleção de peritos; no entanto, as razões para um indivíduo ser premiado com uma posição dentro de um determinado contexto ocupacional pode ter muito pouco a ver com a sua experiência real (FARRINGTON-DARBY e WILSON, 2006). Vale a pena dedicar tempo considerando quem é, e quem não é especialista.

No domínio de biodiversidade, no cenário do INPA, estão sendo considerados os especialistas de ictiologia. Uma vez que se pretende capturar o conhecimento tácito individual destes profissionais e neste sentido, sua experiência prática diária é muito importante, considera-se especialista o pesquisador (formado ou em formação, enquadrando-se nesta categoria alunos), técnicos com trabalho prático no Instituto, pescadores, guias de selva e até mesmo nativos associados ao INPA com suas atividades e perícia reconhecida de alguma forma pelos pesquisadores.

Uma vez que os especialistas tenham sido identificados, é importante considerar as diferenças entre os especialistas, assim como a natureza da experiência de cada um. Os peritos podem ser diferenciados de algumas formas; um esquema considerado útil na prática é distinguir entre três tipos de especialistas: o acadêmico, o praticante, e o samurai (SHADBOLT e SMART, 2015). Cada um destes tipos difere nas suas deliberações, no ambiente de resolução de problemas em que trabalham, no estado do conhecimento que possuem (tanto a sua estrutura interna e sua manifestação externa), posição e responsabilidades, fonte de informação, bem como a natureza do seu treinamento:

- Acadêmico: Estrutura organizada do domínio de forma lógica. Generalizações sobre as leis e comportamento do domínio são importantes para eles; compreensão teórica valorizada. Parte de sua função é de explicar, esclarecer e ensinar os outros. Acreditam que o problema pode ser resolvido pela aplicação adequada da teoria.
- Praticante: Resolução de problemas diários de seu domínio. Para eles, problemas e eventos específicos são a realidade. Sua prática pode muitas vezes ser implícita, e o que eles desejam como resultado é uma decisão que trabalha dentro das restrições e limitações de recursos em que eles estão trabalhando. Pode ser que a teoria generalizada do acadêmico seja mal representada e articulada pelo praticante. Para o praticante, heurísticas podem dominar e a teoria às vezes é descartada.
- Samurai: É um especialista em puro desempenho - a única realidade é o desempenho da ação para garantir um ótimo desempenho. A prática é muitas vezes o único treinamento, e as respostas são muitas vezes automática.

Pode-se ver esse tipo de distinção entre especialistas em qualquer domínio complexo. Na prática, especialistas tendem a não se encaixar em uma ou outra categoria; em vez, incorporam elementos dos três tipos de especialistas apresentados. O analista do conhecimento deve estar alerta para estas diferenças, porque os vários tipos de especialistas apresentarão desempenhos diferentes em situações de elicitación de conhecimento.

Outra distinção importante entre os especialistas é com relação ao seu nível de *expertise*. Um número de modelos de desenvolvimento de *expertise* foram propostos na ciência cognitiva e comunidades de fatores humanos, e podem servir como a base para uma segunda dimensão ao longo da qual os peritos podem ser classificados. O modelo, proposto por Dreyfus e Dreyfus, sugere que a experiência se desenvolve através da progressão por cinco etapas sequenciais: aprendiz, principiante avançado, competente, proficiente e especialista (DREYFUS e DREYFUS, 1986). A transição entre estas fases depende da acumulação de experiência prática no domínio. Hoffman apresenta outro esquema de classificação (HOFFMAN, 1998; HOFFMAN et al., 1995) no qual a escala de desenvolvimento varia de um *Naivette* (ou seja, aquele que é totalmente ignorante de um domínio) até um *Master*, que é considerado como o grupo de elite dos especialistas - o perito dos peritos.

Identificar a fase de desenvolvimento de um especialista é importante para os propósitos de elicitación de conhecimento. Claramente, os indivíduos com níveis bem desenvolvidos de *expertise* são alvos importantes para a elicitación do conhecimento, uma vez que eles são os prováveis possuidores da maior quantidade de conhecimento relevante para o domínio. Dito isto, o desenvolvimento da *expertise* tende a ser associado com uma mudança de conhecimento explícito para conhecimento tácito, e, portanto, os indivíduos em diferentes pontos da trajetória de desenvolvimento do aprendiz ao mestre podem ser diferencialmente sensíveis a determinados tipos de TEC. Em certos tipos de domínios, por exemplo, um *proficiente* pode ter um maior acesso aos conhecimentos relevantes do domínio em relação a um *especialista*. Por esta razão, técnicas tais como entrevistas podem produzir mais informações daqueles em níveis intermediários de desenvolvimento de *expertise*, em comparação com aqueles no nível mais alto da escala de desenvolvimento.

Em *EI*, a descrição das principais técnicas de elicitación de conhecimento, as características dos especialistas do domínio e seus conhecimentos associados que podem afetar diretamente o processo de elicitación do conhecimento, as questões que envolvem a seleção adequada de TECs, são consideradas quando da elicitación de conhecimento no INPA. No escopo deste trabalho, consideraram-se não somente comunicação baseada em diálogo,

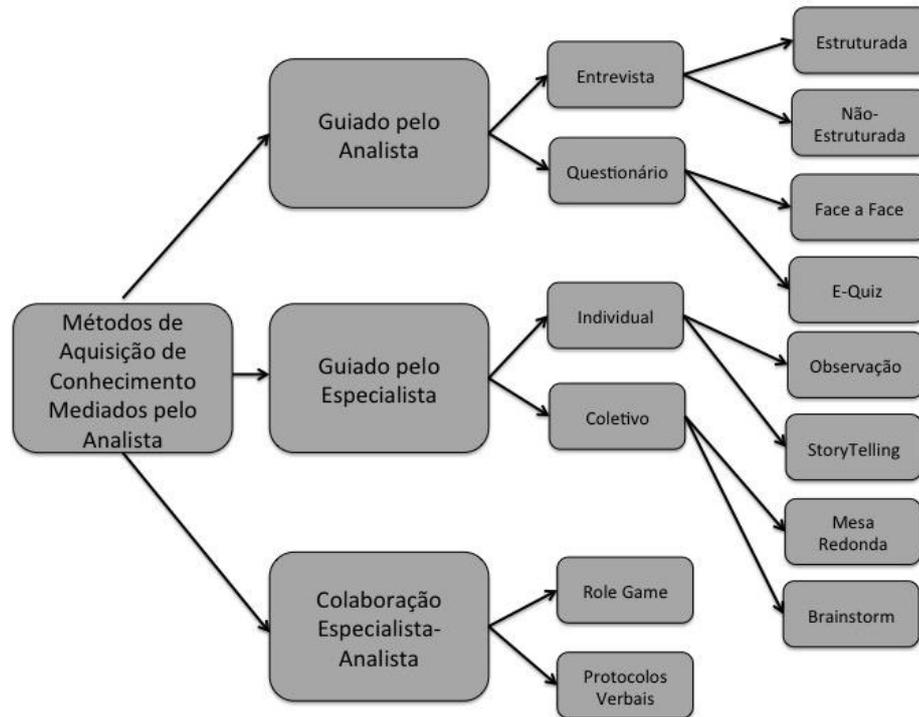
mas também outros tipos de comunicação como não-verbal, visual, etc.

### **C - Taxonomia de Métodos para Elicitação de Conhecimento Tácito**

Desde o início dos anos 2000 observou-se um grande interesse de pesquisadores de engenharia do conhecimento nas técnicas e ferramentas para elicitação do conhecimento, não apenas para o desenvolvimento de sistemas inteligentes, mas também para as práticas de GC. Esta nova geração de ferramentas está focada em procedimentos de elicitação de conhecimento que facilitam o compartilhamento de conhecimento e reutilização (SHADBOLT e SMART, 2015; VOINOV e GAVRILOVA, 2008; GAVRILOVA e LAIRD, 2005). À medida que a gama de técnicas é bastante extensa, a principal questão que se coloca é como escolher um método adequado de elicitação de conhecimento que atende uma situação específica e seus requisitos.

Existem vários métodos, ferramentas e técnicas para elicitar conhecimento tácito (COOKE, 1994, 1999; HOFFMAN, 1987, 1989; HOFFMAN et al., 1995; MILTON, 2012; SHADBOLT, 2005; SHADBOLT e BURTON, 1995; SHADBOLT e SMART, 2015; GAVRILOVA e ANDREEVA, 2012). Dentre os diversos métodos, as propostas de Cooke, Shadbolt e Smart, e Gavrilova e Andreeva forneceram elementos para desenvolver o processo de elicitação (*EI*) do *framework* proposto.

COOKE, (1994) apresenta três famílias de métodos de elicitação de conhecimento que podem ser diferenciadas com base no grau de especificação dos métodos e análises: observação e entrevistas são relativamente informais, métodos de rastreamento de processos são melhor especificados que os anteriores e técnicas conceituais formais e bem especificadas. SHADBOLT e SMART, (2015) definem uma taxonomia com base na natureza das técnicas: natural e artificial dependendo do grau de formalidade do método. A perspectiva de uma taxonomia de GC que destaca papéis distintos do analista (engenheiro do conhecimento) e dos especialistas e potenciais variações desses papéis é proposta por GAVRILOVA e ANDREEVA (2012). Gavrilova e Andreeva propõem uma taxonomia para técnicas de elicitação de conhecimento ilustrada na Figura 7. Esta abordagem apresenta um novo elemento baseado no papel de liderança e condução do processo pelo analista que desempenha a tarefa de facilitador e organizador do processo de elicitação de conhecimento. O analista serve como uma interface entre o proprietário do conhecimento e destinatários. Os autores sugerem que essa taxonomia de métodos pode enriquecer a prática de GC, introduzindo o papel de um analista de conhecimento e estruturação de métodos de elicitação de acordo com as diferentes funções que o analista pode executar.



**Figura 7** - Taxonomia das técnicas de eliciação de conhecimento. Fonte: traduzido de (GAVRILOVA e ANDREEVA, 2012).

Uma vez que este trabalho requer a presença do analista para conduzir o processo de aquisição de conhecimento e ganho de expressividade semântica a partir do conhecimento tácito do especialista em uma ontologia, métodos indiretos (como a mineração de dados e outras técnicas assistidas por computador) são excluídos da taxonomia por não permitirem a interação entre um especialista e o analista; da mesma forma, métodos secundários (tais como grades de repertório, classificação, mapeamento de conceitos e *card sorting*) também estão excluídos uma vez que os mesmos só podem ser utilizados após a aplicação dos métodos apresentados na Figura 7.

Os métodos apresentados na Figura 7 variam de técnicas informais tais como relatórios verbais e observação, entrevistas e questionários, à técnicas mais formais usadas em desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento (CORDINGLEY, 1989). Os métodos são divididos em três categorias, usando critérios como o nível de envolvimento do especialista e analista, e tipo de interação/colaboração entre eles.

Das três categorias, duas podem ser rotuladas como *métodos passivos* e *métodos ativos* respectivamente (a partir do grau de envolvimento de um analista, em comparação com os esforços de um especialista), e a terceira categoria implica mais ou menos igual envolvimento de ambas as partes. *Métodos ativos* (guiado pelo analista), implicam nas técnicas que

requerem a posição ativa de um analista, que extrai o conhecimento do especialista com o ajuda de perguntas especialmente elaboradas. *Métodos passivos* (guiado pelo especialista), constituem as técnicas nas quais a interferência do analista para o processo em que o especialista está envolvido é muito limitada. A observação é um bom exemplo de um *método passivo*, onde o papel do analista é apenas observar/ouvir e, em seguida, analisar.

### **D - Critérios para Seleção de Métodos para Elicitação Conhecimento**

A escolha sobre qual TEC utilizar em qualquer situação particular é orientada por uma variedade de critérios, incluindo as características do domínio, a natureza do especialista de domínio e os requisitos associados com a solução de sistema de conhecimento proposto. Além disso, é claro que algumas técnicas vão ser mais dispendiosas em termos de tempo com o especialista, ou ainda em termos do esforço necessário para a análise do material elicitado. A fim de selecionar uma TEC adequada, é necessário compreender o método que melhor se encaixa no problema particular e situação. Isto exige avaliações empíricas de cada uma das técnicas no que diz respeito a fatores como a natureza de especialistas e a *expertise* associada (SHADBOLT et al, 1999). Apesar de existirem uma variedade de dificuldades associadas à avaliação de técnicas de elicitación de conhecimento, a literatura fornece algumas conclusões gerais quanto à sua eficácia relativa (BURTON et al., 1987; BURTON et al., 1990; HOFFMAN et al., 1995; SHADBOLT e BURTON, 1990).

Um dos principais critérios para a escolha entre diferentes técnicas de elicitación de conhecimento é o tipo de conhecimento que precisa ser elicitado. A distinção entre conhecimento explícito e tácito é de interesse significativo. Técnicas de elicitación de conhecimento são, portanto, consideradas diferencialmente eficazes na elicitación dos tipos de conhecimento. Quando se trata de conhecimento tácito, por exemplo, Hoffman e Lintern sugerem que as diferentes técnicas de elicitación de conhecimento estabelecem diferentes condições nas quais a elicitación do conhecimento tácito é mais ou menos provável: as técnicas de elicitación de conhecimento devem ser vistas como estruturas que suportam a expressão ou a comunicação do conhecimento (HOFFMAN e LINTERN, 2006). Desta forma, o objetivo-chave na elicitación de conhecimento torna-se estabelecer o tipo certo de condições nas quais especialistas possam articular ou comunicar sua perícia. Estes tipos de condições são claramente influenciados pelo tipo de técnica que é utilizada, uma vez que cada técnica está associada a diferentes formas de interação social, acesso a sinais mnemônicos, utilização de diferentes representações esquemáticas, e assim por diante. Pode-se argumentar, assim, que o conhecimento tácito não deve ser visto como uma forma de conhecimento que não pode

nunca, em princípio, ser formalizado por especialistas; em vez disso, deve ser visto como uma forma de conhecimento que é mais facilmente articulada em certas situações, em oposição a outras. Qualquer método ou TEC pode ser mais útil para certos fins, pode ser mais aplicável a determinados domínios, ou pode ser mais útil com certos peritos com determinados estilos cognitivos. Em outras palavras, cada método de elicitação de conhecimento tem seus pontos fortes e fracos e é adequado para um cenário específico.

A fim de navegar através da variedade de métodos de elicitação de conhecimento, faz-se necessário identificar o método que melhor se encaixa ao problema particular e situação. Esta necessidade de identificar os métodos tem sido reconhecida na engenharia do conhecimento. MILTON et al., (2006) e GAVRILOVA e ANDREEVA, (2012) formulam os seguintes princípios da elicitação de conhecimento:

- existem diferentes tipos de conhecimento;
- existem diferentes tipos de especialistas e *expertise*;
- existem diferentes maneiras de representar conhecimento, que podem ajudar a elicitação, validação e reutilização do conhecimento;
- existem diferentes formas de utilização de conhecimento, de modo que o processo de elicitação pode ser guiado pelos propósitos do uso do conhecimento elicitado; e
- portanto, métodos de elicitação de conhecimento devem ser escolhidos de forma adequada para atender as contingências.

De uma perspectiva de gestão do conhecimento, os tipos de conhecimento podem guiar a escolha do método de elicitação de conhecimento. Outra característica do conhecimento que é relevante, é quem domina este conhecimento – o indivíduo ou a coletividade (SPENDER, 1996).

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é incorporar mais semântica ao conhecimento já estruturado e identificar novos conhecimentos a partir do conhecimento tácito individual do especialista, são considerados apenas os métodos de elicitação de conhecimento tácito associados aos métodos de elicitação de conhecimento individual.

A Tabela 1 apresenta as técnicas de elicitação para esses tipos de conhecimento. Existem muitas outras características do conhecimento que podem ser consideradas para tal mapeamento (por exemplo HOLSAPPLE, 2004); no entanto, as distinções de tácito x explícito e individual x coletivo são de base (SPENDER, 1996) e, utilizadas neste trabalho para decidir sobre a escolha do método.

A literatura apresenta mais métodos adequados para a elicitação de conhecimento

explícito e individual do que para a elicitación do conhecimento tácito e de grupo. No entanto, isso indica que apesar de serem em menor número, os métodos para a elicitación de conhecimento tácito e de grupo existem, gerando implicações úteis para os profissionais.

**Tabela 1:** Métodos para Elicitación de Conhecimento Tácito Individual.

Métodos para Elicitación de Conhecimento Tácito Individual
Entrevista – Principalmente as entrevistas semi-estruturadas e não-estruturadas
Observação – Tempo real
Palestra ( <i>storytelling</i> ) – Habilidade para elaborar e compreender palestras
Protocolos Verbais – Define a lógica de tomada de decisão

Dos quatro métodos apresentados na tabela anterior, a exceção da entrevista, os demais não requerem e sequer permitem a intervenção ou mediação do processo de elicitación de conhecimento pelo analista. O registro garante a fidelidade ao modelo mental do especialista. Já na entrevista, a ação do analista pode garantir o sucesso ou fracasso do método, sendo desta forma, o método utilizado nesta pesquisa.

## **E - Entrevista**

A entrevista é a TEC mais utilizada, e assume muitas formas (GAVRILOVA e ANDREEVA, 2012; COOKE, 1994; SHADBOLT e SMART, 2015; CORDINGLEY, 1989). Constitui uma forma específica de comunicação entre o analista e o especialista, na qual o analista faz uma série de perguntas preparadas com antecedência, a fim de obter uma melhor compreensão de uma área de conhecimento específica (GAVRILOVA e ANDREEVA, 2012). A entrevista pode ter diferentes níveis de organização (estruturados, não-estruturados, semi-estruturados) que oferecem ao analista diferentes níveis de liberdade; em todos os casos, o principal objetivo da entrevista é obter informações a respeito de como uma determinada tarefa é executada ou como é tomada uma decisão particular. Pode ser direta ou indireta e pode conter questões explícitas ou implícitas. São geralmente retrospectivas uma vez que requerem do especialista a recuperação de informação baseada em experiência passada. É a técnica mais popular devido à sua aparente simplicidade. No entanto, a experiência mostra que as melhores práticas em entrevista demandam anos de treinamento e trabalho prático. Os principais erros são baseados na fase curta e superficial de preparação para este método de elicitación do conhecimento (GAVRILOVA, 1993).

## **E1 Classificação da Entrevista Segundo sua Estrutura**

Segundo sua estrutura, as entrevistas podem ser classificadas em não-estruturadas e estruturadas.

Entrevistas não-estruturadas são entrevistas do especialista pelo analista, livre de formato, na qual nem o conteúdo ou a sequência de tópicos são pré-determinados. Além disso, entrevistas não-estruturadas fornecem um meio útil de inicializar a compreensão do analista ao domínio alvo - por não requerer conhecimento aprofundado do domínio, é uma boa forma de estabelecer uma interação amigável entre o analista e o especialista do conhecimento, proporcionando uma oportunidade para ambos de discutir o domínio em um ambiente informal, sem restrições quanto ao que pode ser discutido. Infelizmente, esta é também uma das principais desvantagens da entrevista não-estruturada. Em virtude de ser desestruturada, a entrevista pode facilmente permitir que o analista e o especialista concentrem-se em tópicos irrelevantes ou com superficialidade de conteúdo. Por estas razões, muitas vezes há uma exigência de recorrer a métodos de entrevista mais estruturados. Entrevistas não-estruturadas requerem algum treinamento ou habilidade para esboçar ou facilitar a conversação e condução de uma entrevista de sucesso. Habilidades de conversação verbais associadas com uma boa entrevista devem ser consideradas.

A entrevista estruturada é uma versão formal da entrevista na qual o analisador (o que elicita o conhecimento) planeja e dirige a sessão de entrevista. Um benefício significativo da entrevista estruturada é que ela fornece transcritos estruturados que são mais fáceis de analisar do que as conversas não estruturadas, melhorando a eficiência da entrevista estruturada, e também permitindo que o analisador e especialistas concentrem-se em um subconjunto limitado de temas importantes.

Entrevistas estruturadas diferem das não-estruturadas na medida em que o processo de elicitação segue um formato pré-determinado (CORDINGLEY, 1989). Elas variam de altamente-estruturada, na qual o conteúdo e ordem dos eventos são pré-definidos, para semi-estruturada, na qual o conteúdo é pré-determinado, embora a sequência possa variar. Questões podem ser tanto abertas (ex.: perguntas o que, como, por que), impondo restrição mínima na resposta, ou fechadas (ex.: perguntas quem, onde, quando), impondo maior restrição (SHAW e WOODWARD, 1990). Tipos específicos de questões variam e são a maior fonte de diferença entre as técnicas de entrevista estruturada.

A vantagem da entrevista estruturada sobre a não-estruturada é que a estrutura provê mais sistemática, e assim, uma cobertura mais completa do domínio do que entrevista não-

estruturada. Por exemplo, lacunas no conhecimento podem ser melhor identificadas quando questões sistemáticas são perguntadas. Adicionalmente, a estrutura tende a trazer mais conforto, não apenas para o analista, mas também para o especialista porque a informação solicitada é mais explicitamente definida.

Existem técnicas para impor uma menor quantidade de estrutura em uma entrevista. Estas técnicas caracterizam as entrevistas semi-estruturadas (LAFRANCE, 1987; JOHNSON e JOHNSON, 1987).

Embora seja comum ver a entrevista estruturada como técnica única, ela constitui uma classe de técnicas (HOFFMAN et al., 1995). Há, de fato, muitas variedades de entrevistas estruturadas (COOKE, 1994; SHADBOLT e SMART, 2015).

Em todas as técnicas de entrevista mencionados até agora existem uma série de perigos que se tornaram familiar para os praticantes de elicitación de conhecimento. Um problema é que em uma entrevista o especialista só irá registrar o que ele pode verbalizar. Se há aspectos não-verbalizáveis do domínio, a entrevista não vai registrá-los. Pode ser que o conhecimento nunca foi explicitamente representado ou articulado em termos de linguagem (considerar, por exemplo, a *expertise* de reconhecimento de padrões). Depois, há a situação em que o conhecimento foi originalmente aprendido explicitamente em uma forma proposicional ou semelhante à linguagem. Contudo, no decurso da experiência esse conhecimento tornou-se rotineiro ou automatizado. Isso pode acontecer a tal ponto que os especialistas podem considerar as decisões complexas que eles fazem com base apenas em palpites ou intuições. Na realidade, estas decisões são baseadas em grandes quantidades de dados lembrados e experiência e da aplicação contínua do conhecimento.

Outro problema surge a partir da observação de que as pessoas (e especialistas, em particular), muitas vezes procuram justificar as suas decisões da forma que puderem. É uma experiência comum do analista do conhecimento obter uma decisão perfeitamente válida de um especialista, e depois fornecer uma justificação falsa a respeito de porque foi feito e como se originou.

Por essas razões deve-se sempre complementar entrevistas com outros métodos de elicitación adicionais. Em geral, elicitación de conhecimento deve sempre consistir de um programa de técnicas e métodos.

## **2.2.2 Formalização do Conhecimento**

A Representação do Conhecimento (RC) pode ser definida como a aplicação da lógica e ontologias à tarefa de construção de modelos computáveis de algum domínio (SOWA, 1999).

Lógica e ontologias fornecem os mecanismos de formalização necessários para tornar modelos expressivos facilmente compartilháveis e utilizáveis por computador (LOFTING, 2015).

## **A Esquema Progressivo de Formalização - EPF**

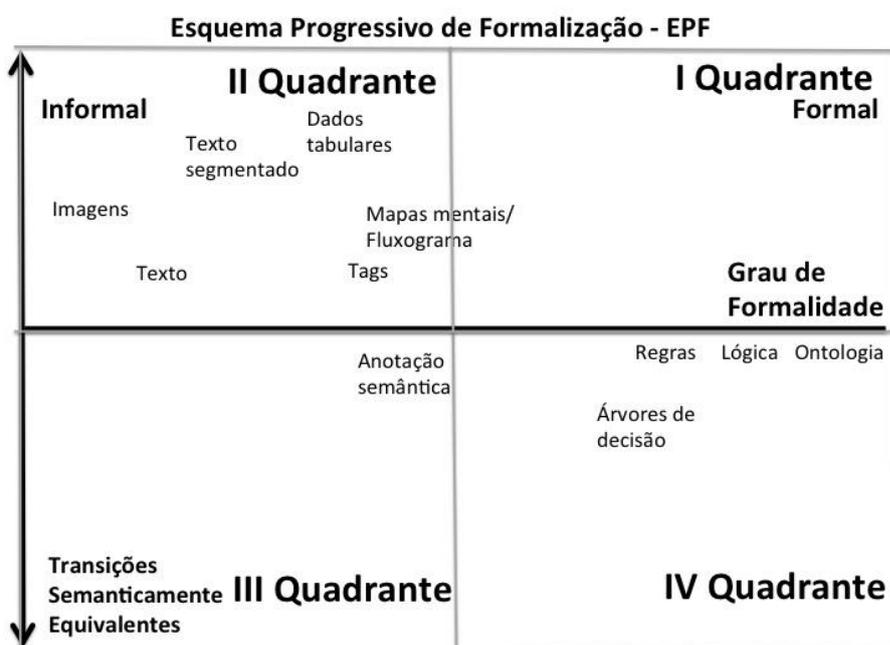
O conhecimento de um domínio pode estar presente em diferentes níveis de formalização, variando de documentos em texto para regras explícitas (BAUMEISTER et al., 2011). Nesta pesquisa, foi definido um EPF para auxiliar a fase de aquisição de conhecimento e formalizar o conhecimento elicitado em *EI*.

A engenharia e manutenção das BCEs ainda é uma tarefa complexa e cara. O EPF proporciona ao engenheiro do conhecimento flexibilidade na representação do conhecimento do MME. Este esquema de formalização enfatiza que o conhecimento utilizável varia de representações muito informais (tais como texto e imagens) para representações muito explícitas (tais como fórmulas lógicas ou ontologias). Este EPF permite aos engenheiros do conhecimento concentrarem-se em um determinado grau de formalização do conhecimento em cada fase do projeto de desenvolvimento, mas oferece uma compreensão versátil do processo de formalização, uma vez que suporta a representação do conhecimento em vários níveis de granularidade.

Em um EPF, um mesmo conhecimento de domínio pode ser exibido em vários tipos de RC, onde as representações adjacentes são similares umas às outras, por exemplo, dados tabulares e XML (HAROLD, 2004), mas, as representações extremas são bastante distintas, por exemplo, texto em linguagem natural versus regras lógicas. No EPF, transições graduais nos graus de formalização do mesmo conhecimento são possíveis, mas o conhecimento a ser modelado não passa por mudanças bruscas ou descontinuidades. Embora o EPF possa ser considerado como um esquema que comporta vários níveis de granularidade do conhecimento formalizado, o domínio de conhecimento representado permanece o mesmo. O EPF também enfatiza que o conhecimento está sujeito a mudanças, um desenvolvimento contínuo no qual uma alteração também pode implicar em uma modificação da representação. O EPF ajuda os especialistas de domínio e engenheiros do conhecimento a visualizar os dados, mesmo simples, como texto e multimídia, como conhecimento mais formal que pode ser transformado por transições graduais quando solicitado.

A Figura 8 ilustra diferentes representações de conhecimento possíveis no EPF. Esta enumeração das representações não pretende ser exaustiva, e tão pouco a ordem descrita de representações entre os dados e conhecimentos destinados a serem explícitos. Não parece

possível definir a ordem total das representações de uma maneira geral. A ordem descrita foi motivada pelo nível possível de expressividade no que diz respeito à capacidade de raciocínio de sistemas construídos usando uma representação particular. Por exemplo, texto pode ser utilizado para recuperação e pesquisa convencional baseada em palavras-chave, ao passo que textos com anotação semântica permitem consultas semânticas e navegação. No IV Quadrante, o conhecimento baseado em regras suporta capacidades de raciocínio ainda mais complexas.



**Figura 8** – Possíveis representações do conhecimento do EPF. Adaptado de (BAUMEISTER et al., 2011).

Cada nível de formalização tem suas vantagens e desvantagens. Por exemplo, o conhecimento textual é mais fácil de ser elicitado (quando explícito) e muitas vezes já está disponível no domínio. Já o raciocínio automatizado utilizando o conhecimento textual não é possível com os atuais métodos; e o conhecimento pode ser recuperado apenas através dos métodos de casamento de strings, mas não ainda pela aplicação de consultas semânticas. Regras lógicas ou modelos são adequados para o raciocínio automatizado, e consultas podem ser processadas no nível semântico. Em contraste com o conhecimento textual, a aquisição de regras e modelos é tipicamente uma tarefa complexa e demorada. Os autores precisam de formação prévia antes de construir bases de conhecimento no nível explícito no que diz respeito aos princípios de engenharia de conhecimento bem como ferramentas que suportam tais modelagem do conhecimento. Para efeito desta pesquisa, o *framework* conceitual requer a

adoção da ontologia (OntoBio) para guiar o processo de formalização, principalmente nos níveis de representação do IV Quadrante da Figura 8, regras, lógica e ontologias.

Para uma dada base de conhecimento, que é formalizada usando uma RC particular, há frequentemente transições semanticamente equivalentes (indicadas pelo segundo eixo na Figura 8), a fim de permitir extensões por adição de conhecimento de domínio. Entre os dois extremos (texto versus lógica) existe uma ampla gama de formatos de representação do conhecimento em diferentes graus de formalização.

Para uma dada aplicação do conhecimento, é importante selecionar o nível de formalização mais adequado como alvo de representação. Uma vez que o conhecimento (ou seus fragmentos) está geralmente disponível em forma textual ou tabular, o processo de desenvolvimento está centrado em trazer as formas existentes para um nível adequado. Embora geralmente se torne necessário complementar as partes onde há perda semântica do conhecimento, a sua natureza original permanece. Assim, a mudança para uma representação mais formal pode exigir uma descrição mais explícita do conhecimento e pode enriquecer o conhecimento resultante com semântica adicional. Ressalta-se que cada transição é uma operação distinta que modifica a representação do conhecimento. No entanto, o modelo mental do conhecimento permanece basicamente o mesmo. É observado que a cada transição de nível de formalização, pode haver perda de expressividade semântica uma vez que o recurso para representação do conhecimento utilizado em cada nível de formalização (por ex., mapas conceituais, lógica de primeira ordem, ontologias) pode não ser capaz de representar determinados aspectos do conhecimento.

Transições entre diferentes níveis de formalização, por exemplo, de texto para anotações semânticas, podem ser feitas de forma manual e, por vezes, de forma semi-automatizada.

A direção da transição para uma representação menos formal do conhecimento é necessária, por exemplo, para analisar/avaliar as bases de conhecimento desenvolvidas. Ou ainda, para recuperar conhecimento que se tornou oculto entre os diferentes níveis de representação do conhecimento. Permite desta forma, um *backtracking* (que nesta pesquisa, significa retornar aos níveis de representação anteriores do EPF), do nível de conhecimento mais formal ao menos formal, possibilitando visitar e recuperar conhecimento em diferentes níveis de granularidade. Neste ponto, uma visualização da base de conhecimento menos formal, ajuda a compreender a semântica do conhecimento implementado.

Ao final do EPF, partindo de uma representação de conhecimento mais informal para mais formal, têm-se uma representação do conhecimento como ontologia para ser comparada

com a ontologia de referência (objeto de estudo do *framework*). A direção típica na engenharia do conhecimento é a transição de dados mal estruturados/não-estruturados para uma representação mais explícita, caracterizando um dos propósitos do EPF que é comparar o conhecimento elicitado formalizado como ontologia (Quadrante IV da Figura 8), com a ontologia base utilizada como estudo de caso para o *framework* e identificar conhecimento não contemplado no estudo de caso e que pode ser utilizado para a evolução da ontologia base. Caso novo conhecimento não seja identificado para evolução da ontologia base, é possível um *backtracking*, do nível de conhecimento mais formal ao menos formal, com o propósito de identificar evidências de conhecimento perdido no processo de formalização e que podem ser utilizadas na aplicação específica de aquisição de novo conhecimento.

O EPF considera que o conhecimento é normalmente representado em diferentes níveis de formalidade. O esquema suporta o uso de engenharia de conhecimento em um nível arbitrário de formalidade e oferece possíveis transições de conhecimento para um nível em que o princípio custo/benefício seja o melhor (LIDWELL et al., 2003, p. 56).

O EPF não requer a transformação de toda a coleção do conhecimento (MME) em uma base de conhecimento em um grau específico, mas o desempenho de transições em partes da coleção quando é possível e apropriado. Isso leva em conta o fato que algumas vezes nem todas as partes de um domínio podem ser formalizadas em um nível específico ou que a formalização de todo o conhecimento do domínio seja muito complexo, considerando custos e riscos. Em consequência, o *framework* conceitual pode ser utilizado em processos de engenharia de conhecimento em diferentes níveis de formalização. Ele também deve ser capaz de suportar o processo de compartilhamento de conhecimento, ou seja, o seu uso real, em diferentes níveis de formalização.

Ainda considerando o custo/benefício, há uma necessidade de poder transformar partes de conhecimento para um nível de formalização onde os custos (engenharia do conhecimento) são minimizados e as vantagens da utilização são maximizados. Portanto, o EPF não só precisa apoiar as transições de partes específicas do conhecimento, mas também deve ser capaz de manter referências entre as partes menos e mais formalizadas de toda a coleção do conhecimento.

## **A1 Trabalhos Relacionados ao EPF**

O conceito apresentado no EPF do conhecimento é referenciado na literatura num contexto mais geral.

No contexto da metodologia CommonKADS, SCHREIBER et al. (2001) descrevem

uma matriz de formalização do conhecimento para técnicas de elicitación de conhecimento. Essa matriz correlaciona conhecimento tácito e explícito com conhecimentos de conceito e conhecimentos de processo. Dessa forma, o processo de desenvolvimento do conhecimento é explicitamente considerado. Entretanto, a matriz não considera transições entre os elementos particulares.

MCGUINNESS (2003) introduz a visão de ontologia, mas concentra-se na expressividade das linguagens de ontologias. USCHOLD e GRUNINGER (2004) discutem diferentes tipos de ontologias variando de termos à lógica geral. Os autores nomeiam esta visão de possíveis representações como um contínuo, mas não propõe transições entre os tipos particulares, nem propõe usá-los em conjunto no desenvolvimento de sistemas inteligentes. GRUBER (2008) também correlaciona o grau de formalização dos dados com a profundidade da inferência, e discute a troca de custo/benefício do conhecimento capturado.

SCHAFFERT et al. (2006) distinguem entre o escopo do modelo, a aceitação do modelo e o nível de expressividade, onde este último define um subespaço do EPF do conhecimento. O nível de expressividade varia de ontologias leves (*light-weight ontologies*), com listas de termos como o representativo menos expressivo, a ontologias pesadas (*heavy-weight ontologies*) com restrições muito expressivas como o mais expressivo. MILLARD et al. (2005) descrevem uma abordagem que investiga a formalidade de documentos de sistemas de hipertexto. Um modelo baseado em vetor da semântica da formalidade desses documentos é dado. A sua escala define um subconjunto dos instrumentos de representação do conhecimento do EPF que variam de texto simples para dados RDF, que seja suficiente no contexto do domínio considerado.

### 2.2.3 Correspondência entre Ontologias

A correspondência entre ontologias é um processo complexo que ajuda a reduzir o *gap* semântico<sup>20</sup> entre diferentes representações sobrepostas de um mesmo domínio. A existência de tais representações obedece ao instinto natural do ser humano de ter diferentes perspectivas e, portanto, modelar problemas de forma diferente. Quando estes domínios são representados pela utilização de ontologias, a solução tipicamente envolve a utilização de técnicas de correspondência de ontologia (OTERO-CERDEIRA et al., 2015). A correspondência entre ontologias consiste em uma solução promissora para o problema de heterogeneidade semântica, uma vez que encontra correspondências entre entidades semanticamente

---

<sup>20</sup> *Gap* é um termo em inglês que significa um distanciamento; afastamento, separação, uma lacuna ou um vácuo. Neste contexto, ilustra a diferença de representação/entendimento de um contexto em determinado domínio.

relacionadas das ontologias e permite a interoperabilidade entre o conhecimento e os dados expressos nessas ontologias (EUZENAT e SHVAIKO, 2013).

*“Correspondência entre ontologias é o processo de encontrar relações entre ontologias, e é chamado de alinhamento o resultado deste processo expressando declarativamente estas relações” (EUZENAT et al., 2008).*

Um alinhamento é um conjunto de correspondências entre entidades pertencentes a ontologias correspondentes. Pode ser de várias cardinalidades: 1: 1 (um-para-um), 1: m (um-para-muitos), N: 1 (muitos-para-um) ou n: m (muitos-para-muitos).

Segundo Euzenat e Shvaiko, dadas duas ontologias, uma correspondência é dada por (EUZENAT e SHVAIKO, 2007):

$$(id, e_{O_1}, e_{O_2}, r),$$

onde:

- $id$  é um identificador para a correspondência dada;
- $e_{O_1}$  e  $e_{O_2}$  são entidades, por exemplo, classes e propriedades da primeira e da segunda ontologia, respectivamente;
- $r$  é uma relação, por exemplo, equivalência ( $=$ ), mais geral ( $\supseteq$ ), disjunção ( $\perp$ ), entre  $e_{O_1}$  e  $e_{O_2}$ .

A correspondência  $(id, e_{O_1}, e_{O_2}, r)$  afirma que  $r$  é relação estabelecida entre as entidades  $e_{O_1}$  e  $e_{O_2}$  das ontologias.

Por exemplo, a Figura 9 ilustra um de fragmento da OntoBio e um fragmento da BCE2 (baseada no MME2- Apêndice C) e suas correspondências.

De forma que:

$$(c_1, Ambiente, Ambiente, =),$$

- A correspondência  $c_1$  indica que Ambiente de  $O_1$  é equivalente ( $=$ ) a Ambiente de  $O_2$ .

$$(c_2, Ambiente, Aquático, \supseteq),$$

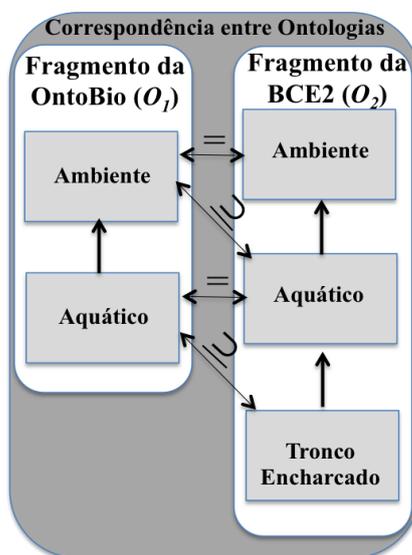
- A correspondência  $c_2$  indica que Ambiente de  $O_1$  é mais geral ( $\supseteq$ ) que Aquático de  $O_2$ . Aquático está contido em Ambiente.

$$(c_3, Aquático, Aquático, =),$$

- A correspondência  $c_3$  indica que Aquático de  $O_1$  é equivalente ( $=$ ) a Aquático de  $O_2$ .

$(c_4, \text{Aquático}, \text{Tronco Encharcado}, \supseteq),$

- A correspondência  $c_4$  indica que Aquático de  $O_1$  é mais geral ( $\supseteq$ ) que Tronco Encharcado de  $O_2$ . Tronco Encharcado está contido em Aquático.



**Figura 9** – Exemplo esquemático de correspondência entre ontologias.

Correspondência entre ontologias é uma operação importante em aplicações tradicionais, por exemplo, evolução de ontologia, integração de ontologias, integração de dados, e *data warehouses* (EUZENAT e SHVAIKO, 2013). Estas aplicações são caracterizadas por modelos heterogêneos, por exemplo, esquemas de banco de dados ou ontologias, que são analisados e combinados manualmente ou semi-automaticamente.

Diversos algoritmos e ferramentas foram propostos para realização da correspondência entre ontologias, como o SMART (NOY e MUSEN, 1999), QOM (EHRIG e STAAB, 2004) e o COMA++ (MASSMANN et al., 2006), H-Match (CASTANO et al., 2003), S-Match (GIUNCHIGLIA et al., 2004), AgreementMaker (CRUZ et al., 2009) e AgreementMakerLight (FARIA et al., 2013) entre outras, todas ferramentas semi-automáticas.

Dentre as ferramentas para correspondência entre ontologias, um destaque é dado ao AgreementMaker, devido à combinação de um arcabouço flexível e extensível e uma interface amigável com o usuário. Esta ferramenta é um sistema para estabelecer correspondência entre esquemas do mundo real e ontologias com centenas ou até milhares de conceitos. Os usuários finais são especialistas de domínio sofisticados que requerem um arcabouço responsivo, poderoso e extensível para desempenhar, avaliar e comparar métodos

que estabelecem correspondência. O sistema compreende uma vasta gama de métodos para correspondência para diferentes níveis de granularidade dos componentes da correspondência (conceitual versus estrutural), a quantidade de intervenção do usuário requerida (manual versus automática), seu uso (*stand-alone* versus composto), e os tipos de componentes a considerar (somente esquema ou esquema e instâncias). Medidas de desempenho (*recall*, precisão e tempo de execução) são suportados pelo sistema, juntamente com a combinação dos resultados fornecidos por esses métodos. O AgreementMaker tem sido usado e testado em aplicações práticas e na *Ontology Alignment Evaluation Initiative* (OAEI). Como principais características, incluem-se arquitetura extensível que facilita o ajuste de integração e desempenho de uma variedade de métodos de correspondência, capacidade para avaliar, comparar, e combinar os resultados de correspondências, e sua interface de usuário gráfica com um painel de controle que dirige todos os métodos de correspondência e estratégias de avaliação (CRUZ et al., 2009). Um novo arcabouço, AgreementMakerLight foi desenvolvido centrado na eficiência computacional e projetado para lidar com ontologias muito grandes, preservando a maior parte da flexibilidade e extensibilidade do AgreementMaker original (FARIA et al., 2013).

Mais detalhes sobre ferramentas para correspondência entre ontologias, podem ser encontrados em (OTERO-CERDEIRA et. al., 2015; EUZENAT e SHVAIKO, 2013; PAULHEIM et. al., 2013), <http://www.mkbergman.com/1769/50-ontology-mapping-and-alignment-tools/> e <http://oaei.ontologymatching.org/>.

## 2.2.4 Evolução de Ontologia

A evolução de ontologia consiste em tornar a ontologia de um estado consistente para outro através de um processo de atualização (adicionar, remover ou atualizar) dos conceitos, suas propriedades, relações associadas, ou instâncias de conceitos (MESSAOUD et al., 2015).

Existem várias razões para realizar contínuas mudanças em uma ontologia, tais como mudança no domínio, inclusão de nova fonte de conhecimento, ou ainda, mudança na forma como se compreende o domínio. Estas mudanças possibilitam melhores inferências, uma representação semanticamente mais rica e uma melhor aceitação pela comunidade que utiliza essa ontologia, indo de encontro aos propósitos do *framework* conceitual apresentado.

Inconsistência e conflitos estão entre os problemas mais críticos encontrados durante a evolução de uma ontologia (KHATTAK et al., 2013). A maioria dos sistemas para evolução usam um especialista para resolver problemas de conflitos (STOJANOVIC et al., 2002; CASTANO et al., 2006; KLEIN e NOY, 2003; PLESSERS e DE TROYER, 2005). Alguns

trabalhos como KAON (STOJANOVIC, 2004) e OntoEdit (SURE et al., 2003) predefinem algumas estratégias de evolução para tratar problemas de inconsistência.

Vários trabalhos apresentam soluções eficazes na evolução de ontologias (FLOURIS et al., 2006; MESSAOUD et al., 2015; KHATTAK et al., 2009; CASTANO et al., 2006; entre outros).

Messaoud et al. (MESSAOUD et al., 2015) identifica dois tipos de evolução de ontologia:

1. População: novas instâncias de conceitos são adicionadas;
2. Enriquecimento: atualização (adicionar ou modificar) de conceitos, propriedades e relações.

## **CAPÍTULO 3 – UM *FRAMEWORK* CONCEITUAL PARA INTEGRAÇÃO DE CONHECIMENTO CIENTÍFICO**

*Neste capítulo é apresentada uma proposta de framework para composição de modelos mentais de especialistas, objetivando o mapeamento de componentes semânticos, de estruturas incorporáveis a ontologias formais, além de anotações semânticas de dados para efeito de disseminação e reuso em ambiente da Web Semântica adaptável às próximas gerações da Web. Por consequência, este capítulo caracteriza uma proposta de ampliação da capacidade semântica da OntoBio, orienta a gestão do conhecimento científico tácito apresentando diferentes níveis de representação, e permite manter conhecimento que pode responder questões que a OntoBio atualmente não contempla.*

### **3.1 Modelagem de Conhecimento: OntoBio para Integração de Dados Biológicos**

A mudança da escassez para a abundância de dados e informações impõe o desafio de integrar pesquisas e acelerar a busca de novas soluções para problemas que são de significativo interesse e relevância social, econômica e política, em especial as que orientam a conservação do meio ambiente.

Um campo de estudo transdisciplinar, como a biodiversidade, propicia a ocorrência de heterogeneidade semântica (i.e. um mesmo fato pode ter várias descrições e significados, dependendo de quem vê/lê/descreve). Esta heterogeneidade já é um problema na comunicação diária entre seres humanos, e sua ocorrência nas ciências pode comprometer resultados de pesquisas. Soluções para interoperabilidade são necessidades reais para pesquisa nesse domínio. Como exemplo, as classificações taxonômicas de espécies são alvo de discussão entre pesquisadores. Algumas árvores taxonômicas são claramente definidas – como em zoologia, para mamíferos. Entretanto, existem divergências de autores em vários domínios além de muitas espécies para serem classificadas ou reclassificadas – como espécies entomológicas. Problemas similares afetam também descrições de habitats de espécies, como ocorrem com as várias classificações mundiais de solo. Como exemplo, podem ser citados o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2006) e o Sistema de Classificação Unificada de Solo (*Unified Soil Classification System* (USCS), (ESTADOS UNIDOS, 1999)). Com isso, uma mesma amostra de solo pode não apenas ser representada por diferentes identificadores e nomes, como também pertencer a classes distintas, de acordo

com o sistema de classificação adotado, comprometendo métodos e resultados científicos de experimentos.

A tentativa de automatizar uma solução para as questões de heterogeneidade semântica é de fato um grande desafio. Uma estratégia para lidar com tais problemas é o uso/reuso de ontologias para ajudar a eliminar conflitos semânticos e promover a integração. Um número de ontologias genéricas<sup>21</sup> foram construídas, cada uma com aplicações em vários domínios, que permite a reutilização do conhecimento, por exemplo, Unified Foundational Ontology (UFO) (GUIZZARDI, 2005; FALBO, 1998).

Uma ontologia define regras que formalmente descrevem o campo de interesse (i.e., estágio de desenvolvimento do organismo coletado; caso biótico, pode ser filhote, jovem, adulto, larva, ninfa, botão, flor, fruto, entre outros). Os dados podem ser quaisquer dados relacionados a esta área de interesse, que são extraídos de várias fontes como base de dados, coleções de dados digitais, a Web etc. A ontologia descreve regras na forma de axiomas, restrições, consequências lógicas e outros métodos baseados na definição formal da ontologia sobre os dados reais para produzir mais informação do que já existe (ALBUQUERQUE, 2011). O axioma apresentado na Figura 10, em lógica de primeira ordem, expressa que toda coleta estará associada a uma instituição responsável pela coleta e a um pesquisador responsável pela coleta. Para estender as funcionalidades do Protégé<sup>22</sup> (editor de ontologias adotado) foram utilizados dois plugins: o *Racer Pro*<sup>23</sup> e o *Jess*<sup>24</sup>. A máquina de inferência *Racer Pro*, é um *plugin* que permite a verificação da consistência da ontologia, ou seja, verifica se existe alguma contradição nas condições lógicas declaradas para as classes, além de uma inferência de subjunção que permite saber se uma classe esta contida em outra. O *Jess*, é um *plugin* que permite realizar as inferências sobre as regras em Semantic Web Rule Language (SWRL) (O'CONNOR et al., 2007) para responder as questões de competência que validam o projeto da ontologia.

Dados de biodiversidade apresentam um alto nível de complexidade que inclui: parâmetros espaço-temporais, estrutura indefinida, multidimensionalidade, vocabulário incógnito expresso por uma linguagem particular e grande volume de dados (MAYER-SCHÖNBERGER e CUKLER, 2014). Ressalta-se a existência de numerosos modelos e

---

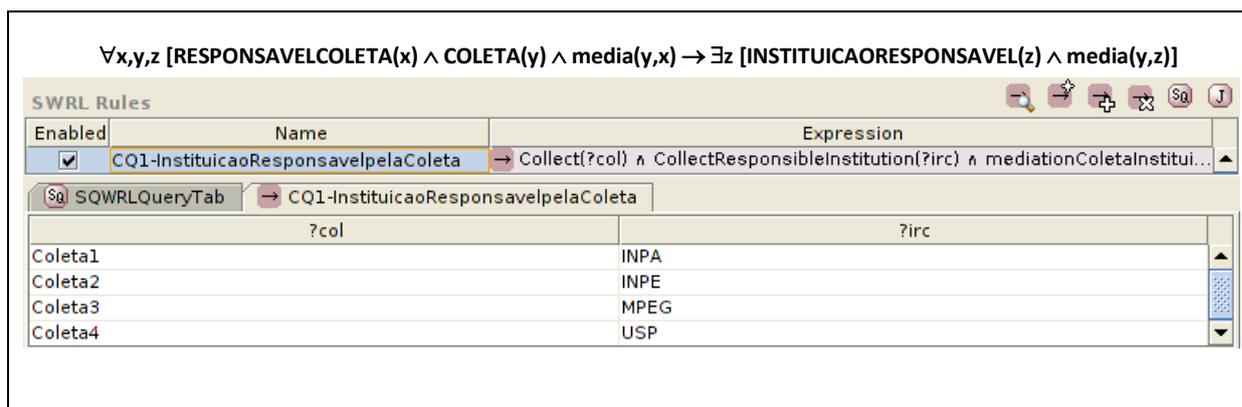
<sup>21</sup> Descrevem conceitos bastante gerais, tais como, espaço, tempo, matéria, objeto, evento, ação, etc., que são independentes de um problema ou domínio particular (GUARINO, 1998).

<sup>22</sup> <http://protege.stanford.edu/>

<sup>23</sup> <http://www.racer-systems.com/index.phtml>

<sup>24</sup> <http://www.jessrules.com/jess/index.shtml>

formatos de dados, o que torna a interoperabilidade entre eles, um desafio (ALBUQUERQUE et al., 2009a; ALBUQUERQUE et al., 2009b). No que diz respeito à integração de dados, a maior dificuldade advém da falta de uma conceitualização básica de domínios. O uso de ontologias se apresenta como recurso à integração de dados, quando focado em aspectos semânticos e na busca de funcionalidade para interoperação entre fontes de dados (FALBO, 1998; ZHANG, 2007).



**Figura 10** – Regra em forma de axioma da OntoBio (ALBUQUERQUE, 2011).

No ambiente Web, o uso de ontologias associado a diversas fontes de dados tem se mostrado uma solução útil para orientar a aquisição e especificação de conhecimento (ALBUQUERQUE, 2011). Trabalhos anteriores indicam que a ontologia pode estruturar o processo de aquisição de conhecimento para o propósito de compreensão, entendimento de máquinas e extração de conhecimento do ambiente da Web (ALBUQUERQUE, 2011). Essas tecnologias, aplicadas ao domínio da biodiversidade, são um recurso valioso para o planejamento estratégico e contribuição para a conservação, avaliação de impacto ambiental, definição de áreas de preservação ambiental, proteção de espécies ameaçadas, recuperação de áreas degradadas, bioprospecção, definição de políticas públicas, legislação ambiental, entre outras.

Devido à ampla gama de características de dados e os diversos perfis de especialistas, ainda há trabalho a ser realizado na especificação de ontologia para este domínio. Esta é uma das razões que torna a integração de dados de biodiversidade e estudos ecológicos considerados não trivial. Soluções de interoperabilidade são necessárias para a pesquisa neste domínio e ontologias podem ser utilizadas para minimizar tais questões.

A extensão de ontologias permitindo o reuso e gerando ontologias semanticamente mais expressivas são adequadas a este propósito. Incorporar conhecimento não-estruturado a estes instrumentos organizadores de conhecimento podem torná-los mais ricos semanticamente.

Assim considera-se neste trabalho a incorporação de conhecimento tácito do especialista a ontologias formais.

Nesta pesquisa, o conhecimento tácito considerado é científico, não necessariamente precisa ser formalizável, mas precisa, de alguma forma, ser passível de sistematização, estar associado a um processo lógico, sujeito às leis do conhecimento; não é intuitivo ou heurístico em essência, caracterizando um recurso para aumentar a expressividade semântica de ontologias e, para tanto, deve estar em concordância com a estrutura conceitual fundamental do domínio.

Neste contexto, a OntoBio é uma ferramenta com funcionalidades de integração e estruturação de dados biológicos, que pode ser utilizada como caso de estudo na viabilidade de se modelar o conhecimento científico tácito de especialistas e incorporá-lo a instrumentos estruturantes do conhecimento, tornando o mesmo mais expressivo semanticamente (ALBUQUERQUE, 2011).

### 3.2 A OntoBio Revisitada

Considerando a natureza complexa e dinâmica do domínio de biodiversidade, é comum a ocorrência de extensões/evolução da Ontologia de acordo com as visões dos especialistas. Requisitos elicitados junto a pesquisadores do INPA e Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), nortearam a identificação de novas entidades, categorizações, relacionamentos e três novas Sub-Ontologias: Sub-Ontologia Aquisição, Sub-Ontologia Instituição de Pesquisa e Sub-Ontologia Classificação Taxonômica. Esta nova versão da OntoBio (esquema simplificado na Figura 11) vislumbra incorporar mais semântica ao modelo e a disponibilização de uma versão com características que permitam sua utilização em aplicações mais complexas.



**Figura 11** - Esquema simplificado da nova versão da OntoBio [2].

A nova versão proposta contempla as resoluções para os problemas de modelagem conceitual apontados no trabalho de SALES (2012). Além disso, novas implementações foram validadas utilizando a ferramenta OntoUML Lightweight Editor (OLED)<sup>25</sup>. A nova versão da OntoBio permite uma visão mais abrangente do domínio da Biodiversidade, principalmente no campo de classificação taxonômica, além de acrescentar aspectos de coleções biológicas e protocolos de coleta. Esta versão está relacionada tão somente à ajustes conceituais da primeira versão e não está relacionada à ajustes da OntoBio para uso do *framework*. A versão original da OntoBio pode ser aplicada ao *framework* conceitual da mesma forma.

A seguir são apresentadas as principais alterações conceituais realizadas na OntoBio.

- Sub-Ontologia Coleta

Esta sub-ontologia foi segmentada em duas novas sub-ontologias (Aquisição e Instituição de Pesquisa).

- Sub-Ontologia Aquisição

Esta sub-ontologia apresenta fragmentos da proposta inicial, presente na Sub-Ontologia Coleta. Uma coleta é definida como sendo a aquisição de organismo silvestre animal, vegetal, fúngico ou microbiano. Atualmente, a entidade Coleta é denominada Expedição, que representa uma das formas de obtenção/aquisição de espécimes/indivíduos. As outras formas contempladas na nova versão, representadas através de entidades, são: Compra, Doação, Legado e Permuta. As coletas executadas mediante uma expedição devem obedecer protocolos de coleta específicos. Os protocolos definem quais métodos de coletas podem ser utilizados para coletar espécimes/indivíduos. Foram considerados os protocolos internacionais mais adotados.

- Sub-Ontologia Instituição de Pesquisa

Originalmente, instituição de pesquisa foi considerada como uma instituição responsável pela coleta.

Atualmente, a instituição de pesquisa possui uma representação mais abrangente, onde foram incorporadas características (representadas por meio de entidades), tais como: Ministério, que coordena a instituição de pesquisa; as Coleções, as coleções e suas entidades; os tipos de Vínculo que a instituição poder ter. Para as instituições oficiais brasileiras, uma

---

<sup>25</sup> <https://github.com/nemo-ufes/ontouml-lightweight-editor>

coleção compreende material biológico devidamente tratado, conservado e documentado de acordo com normas e padrões que garantam a segurança, acessibilidade, qualidade, longevidade, integridade e interoperabilidade dos dados da coleção, pertencente à instituição científica com objetivo de subsidiar pesquisa científica ou tecnológica e a conservação *ex situ* (IBAMA, 2007).

- Sub-Ontologia Ecossistema

Ecossistema pode ser absorvido pela sub-ontologia Ambiente, bem como os módulos de fitofisionomia, vegetação e região climática da sub-ontologia Localização Espacial.

- Ambiente

Novas especializações de micro e macro ambiente foram adicionadas a esta sub-ontologia.

- Sub-Ontologia Entidade Material

Esta sub-ontologia pertence à versão original da OntoBio e captura a estrutura taxonômica que um espécime/indivíduo pode ter, porém são considerados apenas os seguintes níveis (*ranks*) taxonômicos: família, gênero e espécie. Houve uma mudança na percepção do domínio da classificação taxonômica, representado nesta sub-ontologia, o que resultou na retirada destas entidades desta sub-ontologia e incorporação das mesmas em uma nova sub-ontologia (Sub-Ontologia Classificação Taxonômica).

Hábitos alimentares e estágio de maturidade foram incluídos nesta sub-ontologia.

- Sub-Ontologia Classificação Taxonômica

Esta nova sub-ontologia corresponde a uma nova perspectiva da modelagem conceitual para o tratamento da classificação taxonômica de um espécime. Anteriormente, no trabalho de ALBUQUERQUE et al. (2015), a sub-ontologia Entidade Material não suportava níveis taxonômicos específicos como os Infra e Super níveis.

Esta nova abordagem permite capturar a estrutura taxonômica com mais detalhe para qualquer espécime/indivíduo, seja este vegetal, animal ou microrganismo. Para que isso fosse possível fez-se necessário compreender alguns fatores, dentre eles:

1. O conceito de classificação taxonômica, pois este possui uma relação direta com a forma que os pesquisadores compreendem e abordam a evolução de um espécime/indivíduo ou grupo;

2. Existem diferentes maneiras dos pesquisadores abordarem a evolução das espécies, logo, é comum existir mais de uma classificação taxonômica para um determinado espécime/indivíduo ou grupo;

3. Compreender o conceito do *Type Status*, que representa o tipo/categoria de um determinado espécime/indivíduo, utilizado para designar uma espécie ou grupo, ou seja, o material testemunho (*voucher*) utilizado como estudo para descrever um determinado grupo taxonômico. Um *voucher* assegura que a identidade do organismo estudado no campo ou em experiências de laboratório possam ser verificadas, e também assegura que os novos conceitos da espécie possam ser aplicados às pesquisas passadas (MARTIN, 1990). O *Type Status* está relacionado com cada espécime seja ele animal, vegetal ou microrganismo. Pode ser tanto a ocorrência física de um espécime/indivíduo (*voucher*), como também pode ser uma descrição através de uma obra de referência.

Esta Sub-Ontologia está de acordo com a última alteração da nomenclatura internacional de botânica (NORVELL, 2011) onde esta passa a aceitar *filo* e *divisão* como mesmo nível taxonômico. Até o ano de 2010 existia uma diferença de nomenclatura no segundo maior nível taxonômico obrigatório. A nomenclatura internacional de zoologia utilizava *filo* como nomenclatura válida e a nomenclatura internacional de botânica utilizava *divisão*.

O Apêndice B apresenta o esquema conceitual da OntoBio (*trial*) utilizado neste estudo de caso resultante destas alterações conceituais. Código, modelagem, imagens e documentos estão disponibilizados em [portal.inpa.gov.br/ctin/lis/ontobio/](http://portal.inpa.gov.br/ctin/lis/ontobio/) e também em <http://www.menthor.net/ontobio.html>.

O esquema apresentado no Apêndice B reflete mudanças na modelagem conceitual do esquema ontológico, resultantes de novas análises do domínio, revisitas às bases de dados e entrevistas com os especialistas. Esta versão não apresenta mudanças resultantes da incorporação de dados não-estruturados na ontologia. Desta forma, há uma demanda por um modelo que sistematize o processo de incorporar conhecimento tácito às ontologias formais.

### **3.3 Framework<sup>26</sup> Conceitual para Integração de Conhecimento**

O sucesso de uma integração semântica de dados é dependente do poder de expressividade da(s) ontologia(s) utilizada(s) (ALBUQUERQUE, 2011). No entanto, a escassez de

---

<sup>26</sup> Neste pesquisa, um *framework* conceitual é uma estrutura que apresenta um conjunto de métodos e processos necessários ao processo de agregação de conhecimento tácito às ontologias formais.

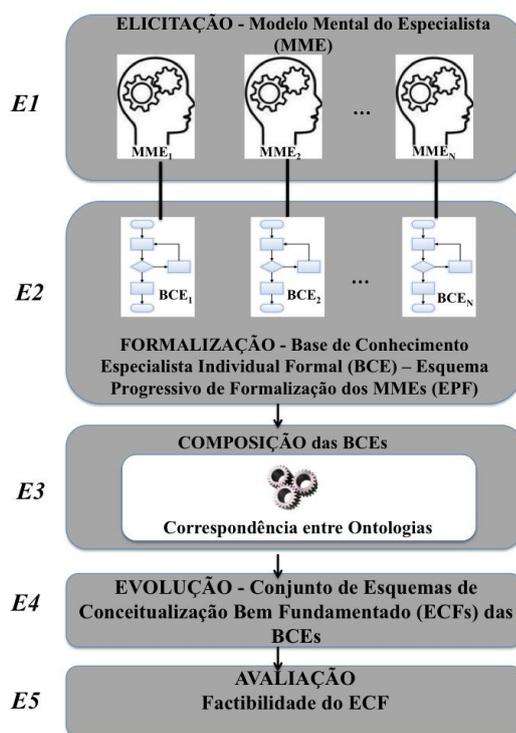
ontologias de domínio sofisticadas (faz uso de mecanismos formais para a construção de uma ontologia (PINTO e MARTINS, 2000)), usadas para tipificar os dados, inviabiliza a integração efetiva dos dados e dificulta a decisão sobre a adequação desses dados à qualquer investigação científica particular. O propósito do *framework* conceitual é prover um ambiente tecnológico para integração de conhecimento, agregando expressividade semântica à ontologias formais (uma vez que gera recomendações para evolução da ontologia) por meio dos modelos mentais dos especialistas, permitindo o processamento e gestão do conhecimento. Ainda, o *framework* propicia a resolução de questões não contempladas pela ontologia objeto de estudo, uma vez que trata o conhecimento em diferentes níveis de granularidade.

Um fato que chama atenção neste universo de dados sobre biodiversidade disponíveis na Web, é a inexistência de dados semi-estruturados e não-estruturados como o conhecimento legado (ex.: do pesquisador, do mateiro, do pescador, do guia nativo, entre outros), potenciais para agregar valor às bases disponíveis. Estes dados encontram-se no modelo mental do indivíduo e tendem a se perder diante de aspectos temporais do cotidiano como demissões, deficiências, aposentadorias, mortes e etc. (entropia da informação (MICHENER, 2006)). Para ilustrar este contexto, pode-se apresentar, por exemplo, um levantamento de requisitos com um especialista de aranhas (*aracnídeos*), que relata que sempre há ocorrência de aranhas em regiões de várzea na Amazônia em raízes submersas, isto baseado em sua experiência de especialista. Este dado não está expresso (e nem poderia ainda) na OntoBio, por se tratar de conhecimento adquirido com os anos de pesquisa e experiência do especialista (tácito), mas é informação importante e relevante que poderá orientar uma série de ações futuras. Na existência de necessidade de coletar aranhas, um caminho de busca poderia conduzir até tal base com registro de aranhas nestas áreas. Outro caminho poderia conduzir a outras regiões com propriedades semelhantes ao *habitat* descrito anteriormente, não necessariamente várzea, mas com características similares: raízes expostas, ambiente úmido, de certa forma alagado, clima quente. É uma informação importante quando precisa-se, por exemplo, buscar populações de aranhas em outras localidades. Um outro exemplo, seria o fato de que a presença de capim tipo “arrozinho“ (*Leersia hexandra*) no rio indica a provável ocorrência de malária na região, uma vez que esta vegetação aquática oferece condições adequadas à proliferação do *Anopheles darlingi*, vetor da malária. Muito poderia ser inferido se esta informação estivesse organizada em uma Base de Conhecimento Especialista Individual Formal (BCE).

Os benefícios de uma integração de dados científicos mais expressivos, permitirão a biociência, avançar rapidamente em áreas até hoje não investigadas. Por esta razão, se reconhece a necessidade de integrar o modelo mental do especialista às bases de dados de biodiversidade existentes e às já integradas na OntoBio.

Atualmente, a OntoBio integra apenas as bases de dados estruturadas de biodiversidade, não considerando o conhecimento tácito de especialistas (que na maioria das vezes, não participa do processo de elicitación do conhecimento).

O *framework* conceitual apresentado na Figura 12 objetiva integrar conhecimento tácito, permitindo o desenvolvimento de ontologias e bases de dados mais ricas e expressivas semanticamente, tornando o processo de aquisição e uso de conhecimento para múltiplos propósitos. Esse *framework* incorpora à OntoBio e às bases de dados, além de sintaxe, estrutura e semântica, um modelo da estrutura conceitual e cognitiva do especialista do domínio. O *framework* contempla modelos mentais multidisciplinares e por isso se faz necessário a extração de modelos conceituais e cognitivos para um domínio compatível com a ontologia, no caso da OntoBio, o domínio de biodiversidade. O resultado extraído poderá ser mapeado para a ontologia desejada a fim de guiar seu processo de evolução e/ou fornecer um Esquema Progressivo de Formalização (EPF) para guiar o processo de aumento da expressividade semântica de elementos estruturantes do conhecimento.



**Figura 12** - Modelo proposto para elicitación de conhecimento.

A Figura 12 apresenta o modelo proposto para elicitaco e gesto do conhecimento que compreende 5 etapas descritas a seguir:

- (E<sub>1</sub>) O *framework* precisa possibilitar a elicitaco dos Modelos Mentais<sup>27</sup> dos Especialistas (MMEs);
- (E<sub>2</sub>) Os MMEs so modelados conceitualmente atravs de um Esquema Progressivo de Formalizaco (EPF) dos diferentes MMEs, gerando as Bases de Conhecimento Especialista (BCEs);
- (E<sub>3</sub>) Um mecanismo de composico das BCEs, deve guiar a correspondncia entre as BCEs e a OntoBio com o propsito de determinar a correspondncia e novos conceitos nas ontologias;
- (E<sub>4</sub>) A especificaco de um conjunto de Esquemas de Conceitualizaco bem Fundamentado (ECFs) das BCEs, permite diretivas, acoplveis  estrutura de ontologias formais (nesta pesquisa, a OntoBio) e s bases de dados no convencionais de biodiversidade, guiando o processo de evoluo da ontologia;
- (E<sub>5</sub>) Avaliaco das ECFs recomendadas em E<sub>4</sub> e aplicadas  estrutura formal da OntoBio. Como resultado, deve incrementar o processo de aquisico do conhecimento, incorporando sintaxe, estrutura, semntica e disponibilizando elementos para anotaco semntica<sup>28</sup> de dados e estruturas que podem ser vinculadas  ontologias abertas que podero auxiliar a publicaco dessas informaces na Linked Open Data (LOD).

### 3.4 Vantagens do Uso do *Framework* Conceitual

O esquema de *input* e *output* do *framework*  apresentado na Figura 13 utilizando-se um MME como ilustraco. Cada MME gerar um *output* especfico com opes de aplicaco.

O *output* permite que os instrumentos estruturantes de conhecimento utilizados respondam mais questes, de melhor forma e consistentemente. O *output* d suporte ao processo de evoluo da ontologia, ao prover um EPF que nortear o processo de geraco de novo conhecimento

A partir de uma pergunta (conhecimento demandado), verifica-se se a ontologia (aps submisso ao processo de evoluo)  capaz de respond-la. Caso negativo, o EPF deve ser

---

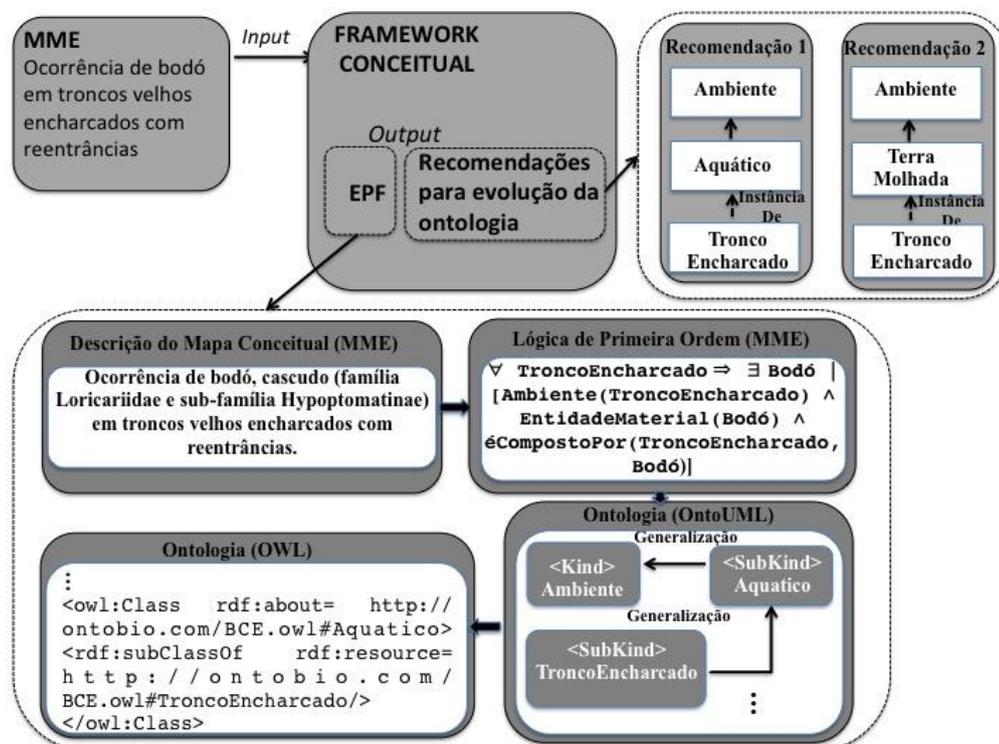
<sup>27</sup> Nesta pesquisa, modelos mentais referem-se a situaes de realidade mais especficas, mais do que fenmenos mais gerais.

<sup>28</sup> Anotaco,  sobre como anexar nomes, atributos, comentrios, descries, etc, para um documento ou a uma parte selecionada em um texto. Fornece informaco adicional (metadados) sobre uma parte existente do dado. Anotaco semntica ajuda a abrir caminho na ambiguidade da linguagem natural ao expressar noes e sua representaco computacional em uma linguagem formal (OREN et al., 2006). No constitui o foco desta pesquisa.

explorado pois abrange conhecimento não contido na ontologia. Por ser composto de diferentes níveis de formalização de conhecimento, o EPF representa diferentes níveis de granularidades com características singulares em cada um.

A partir do *framework* conceitual pode-se identificar conhecimento já estruturado na ontologia mas que não está representado na mesma e conhecimento que não se encontra estruturado ainda. Nem tudo o que é elicitado necessariamente deve ou pode ser incorporado à ontologia. Este conhecimento deve ser registrado e armazenado para uso futuro, ou ainda, para responder questões que estão fora do escopo da ontologia em questão. Este conhecimento apresenta diferentes níveis de certeza (conhecimento provável, não efetivo) e diferentes visões de um mesmo tema.

Projetos de Informática para Biodiversidade, como o aqui apresentado, tem como foco o desenvolvimento de sistemas que permitam a interoperabilidade e a síntese de conhecimentos provenientes de sistemas locais para serem incorporados em arquiteturas globais de conhecimento (SHANMUGHAVEL, 2007).



**Figura 13** – Esquema de *input* e *output* do *framework* conceitual.

Esta pesquisa pretende demonstrar que tecnologias disponibilizadas a partir da Web

Semântica podem ser utilizadas para integração de dados e conhecimento compartilhado, por meio das ontologias. Essa abordagem evidencia uma evolução em relação à forma atual de disseminação de dados, baseada em padrões de dados e metadados com baixo poder de expressividade, que em geral não são totalmente interoperáveis entre si. O *framework* proposto pode ser aplicado a qualquer área do conhecimento, tendo sido aplicado e testado na geração de uma nova versão da OntoBio. Os especialistas em biodiversidade do INPA em parceria com o Grupo de Sistemas Inteligentes (GSI) do Instituto de Computação (IComp) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), o grupo Núcleo de Estudos em Modelagem Conceitual e Ontologias (NEMO) da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, estiveram envolvidos e participaram da validação do *framework* proposto em cooperação com a equipe do Laboratório de Interoperabilidade Semântica - LIS e do Programa de Coleções Biológicas do INPA.

Os capítulos 4, 5 e 6 detalham as etapas que compõem o *framework*.

## CAPÍTULO 4 – ELICITAÇÃO DE CONHECIMENTO CIENTÍFICO TÁCITO (E1)

*Neste capítulo são apresentados os principais aspectos relacionados ao processo de elicitação de conhecimento, bem como as técnicas utilizadas para a elicitação durante o desenvolvimento da E1 do framework conceitual proposto.*

### 4.1 Aplicação de Entrevistas pelo Analista

Estudos sistemáticos de (DAVIS et al., 2006) e (DIESTE et al., 2010) indicam que entrevistas são as mais efetivas técnicas de elicitação de conhecimento; entrevistas não-estruturadas são mais efetivas do que técnicas introspectivas; quando o analista tem conhecimento do domínio, a entrevista é mais eficiente.

Entrevista, e particularmente a entrevista semi-estruturada utilizada no desenvolvimento desta pesquisa, é um dos métodos de pesquisa qualitativa mais utilizado e de base, juntamente com auto-relatos, observações e análise de protocolos e narrativas escritas. A coleta de informações é um processo em aberto; o foco é sobre o indivíduo ou sobre a situação. Durante a pesquisa, o significado da informação é importante. O significado é interpretado através da análise de conteúdo ou através da interpretação de respostas em seus níveis de abstração e complexidade.

O método geral de conduzir uma entrevista semi-estruturada é apresentado a seguir (DIESTE et al., 2010):

- Minimizar a situação hierárquica de discussão para um nível confortável para o inquirido (especialista);
- Utilizar o roteiro de entrevista para fazer perguntas abertas. O roteiro de entrevista é o instrumento de trabalho para o entrevistador (neste caso, o analista) e contém o conjunto de questões que devem ser exploradas durante a discussão;
- Explorar os assuntos em profundidade, seguindo o processo de pensamento do entrevistado. O objetivo é capturar o máximo possível de informações (tanto da estratégia de pensamento quanto do conteúdo do pensamento do entrevistado).

Para certificar-se de que o entrevistado fala aberta e livremente, as questões devem:

- Ter formulação clara;
- Ser curta e focada;
- Ser mais geral no início e mais específica e aprofundada no final;
- Incluir exemplos para melhorar a compreensão;

Alguns pontos positivos devem ser utilizados e alguns erros gerais devem ser evitados.

Melhores práticas:

- Evitar o uso de perguntas compostas como por exemplo, "quais suas considerações sobre o método de coleta de peixes utilizado atualmente na região do Catalão, em comparação com o que era utilizado na década de 1980 na região do Tarumã?" É melhor dividir e perguntar "quais suas considerações sobre o método de coleta de peixes utilizado atualmente na região do Catalão?" E em seguida, "quais suas considerações sobre o método de coleta de peixes utilizado na década de 1980 na região do Tarumã?"

- Evitar o uso de jargões, gírias. Podem ser mal interpretados (por exemplo, paradigma orientado a objetos, peptídeos, ribossomo etc.);

- Evitar perguntas de múltipla escolha como *É melhor utilizar o método de coleta puçá ou tarrafa?*, talvez seja melhor utilizar isca em linha;

- Perguntas específicas podem resultar em respostas desviadas. Talvez o entrevistado suporte melhor perguntas mais genéricas;

- Usar as confirmações de entendimento para manter o foco do entrevistado;

- Usar perguntas que estabeleçam vínculo e conformidade;

- Usar perguntas persistentes como *Existe algo mais?*, *O que mais?*, *O que vem depois?*.

Os pontos anteriormente apresentados são diretrizes gerais para a realização de uma entrevista de qualidade e formulação de perguntas compreensíveis. As entrevistas realizadas foram face-a-face, individuais e sem limite de tempo. As questões elaboradas e utilizadas na entrevista semi-estruturada durante a elicitación de conhecimento são apresentadas a seguir. Vale ainda ressaltar, que por se tratar de entrevista semi-estruturada, está sujeita a ajustes realizados pelo analista durante o processo.

1. Quais fatores ambientais perceptíveis a olho nu, determinam a ocorrência de exemplares de espécies?
2. Que tipo de observação/informação é importante no processo de coleta?
3. Qual a influência específica do método de coleta na captura de espécime com

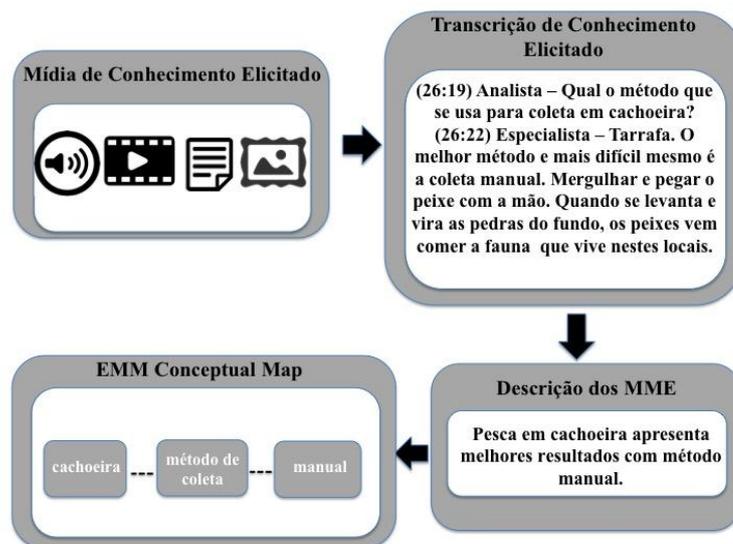
classificação taxonômica distinta?

4. Já utilizou algum método fora do padrão com melhores resultados e por isso o adotou?
5. Cite fatos observados durante sua vida científica que o levaram a aquisição/geração de novo conhecimento? Exemplo: Sabe-se que quando há ocorrência de capim arrozinho, normalmente há surtos de malária, pois o vetor encontra condições favoráveis à propagação nesse ambiente.
6. Quais os habitats preferidos de determinado grupo?
7. Que tipos de fatores bióticos e abióticos indicam a ocorrência ou não de indivíduos ou grupos de indivíduos em dada localidade/ambiente?
8. Quais são as atividades/ações incorporadas ao processo de coleta de indivíduos/grupos de indivíduos que são oriundas da experiência do pesquisador?
9. Quais as características ambientais observadas que podem prever ou definir a ocorrência de determinado evento?
10. Qual o conhecimento empírico adquirido ao logo de sua pesquisa?
11. Observou algum aspecto/evento que foge o padrão da literatura?

#### **4.1.1 Resultados da Elicitação: Modelos Mentais**

Um esquema de elicitação para o *framework* desenvolvido é composto de quatro etapas e que constituem parte do EPF a ser apresentado no Capítulo 5 : mídias da EC, transcrições das ECs, os MMEs e seus mapas conceituais.

A Figura 14 ilustra um exemplo de um esquema de elicitação. Um registro e armazenamento da mídia de EC deve ser guardado para uso posterior. O passo seguinte é a transcrição do conhecimento elicitado, seguido por uma descrição do MME e seu mapa conceitual. Esta descrição está sujeita ao entendimento do MME pelo analista e sua decisão sobre qual e como o conhecimento será modelado. Como ilustrado, a utilização de tarrafa como um método de coleta em cachoeira não é considerado. É um conhecimento explícito nos protocolos de coleta do INPA, já consolidado. Esta é a escolha de modelagem e representação do conhecimento pelo analista. A adoção de pesca manual como um método de coleta é inovador, resultado da perícia do especialista, e foi considerado pelo analista na modelagem do conhecimento. Está claro que durante a transição entre a transcrição da entrevista e a descrição de um MME, perdas semânticas podem ocorrer.



**Figura 14** – Exemplo de esquema de elicitação de um MME de ictiologia.

Durante a *EI* do *framework* proposto, foi possível identificar os seguintes modelos mentais durante as entrevistas com 9 especialistas em ictiologia para o estudo de caso da OntoBio:

MM1 – Ocorrência de cará quando há presença de macrófita flutuante.

MM2 – Ocorrência de bodó (cascudo), em troncos velhos encharcados com reentrância.

MM3 – Para pescar jatuarana, utilizar semente de jauari.

MM4 – A macrófita preferida do peixe-boi é o capim canarana.

MM5 – Bagre do poço é encontrado em poços e em bancos de folhas submersas profundas.

MM6 – Ocorrência de bodó (cascudo) em corredeira, buscar ramos submersos por trás e por baixo.

MM7a – Cangatí mais fácil de ser coletado no crepúsculo vespertino com puçá. Os animais vêm à superfície para pegar insetos que caem na água.

MM7b - Carataí mais fácil de ser coletado no crepúsculo vespertino com puçá. Os animais vêm à superfície para pegar insetos que caem na água.

MM8 – Pesca em cachoeira apresenta melhores resultados com a mão durante mergulho. A partir do momento que se começa a levantar e virar as pedras do fundo, os peixes vem comer a fauna e micro-organismos que vivem nestes locais.

MM9 – Tralhoto, também conhecido como olhudo, é mais fácil de ser pescado à noite, com puçá, em zona de transição aquático-terrestre.

MM10 – Ocorrência de bagre folha por baixo de apanhado de folhas. Utilizar puçá.

MM11a – Ocorrência da família *Loricariidae* gênero *Acestridium* em vegetação aquática, com folhas com formato laminar em área de correnteza.

MM11b – Ocorrência da família *Crenuchidae* gênero *Ammocryptocharax* em vegetação aquática, com folhas com formato laminar em área de correnteza.

MM11c – Ocorrência da família *Loricariidae* gênero *Farlowella* em vegetação aquática, com folhas com formato laminar em área de correnteza.

MM12 – Ocorrência da família *Characidae* em igarapé de terra firme, com água corrente com pedras e paus e temperatura mais baixa.

MM13a – Guarapariba é isca utilizada para peixes não carnívoros.

MM13b – Capitari é isca utilizada para peixes não carnívoros.

MM14 – Aumento do foco do mosquito com o florar do táxi branco.

Com estes MMEs, nota-se a importância para este experimento, em se elicitar o mesmo conhecimento dos diversos especialistas participantes do processo (diferentes origens do conhecimento, diferentes especialistas, diferentes *expertises*, diferentes formas de utilização do mesmo conhecimento). O propósito é elicitar os modelos mentais dos diferentes especialistas e verificar/registrar as diferentes visões de mundo sobre o mesmo tema salientando os diferentes perfis de especialistas e o conhecimento consensual. Conflito nos conhecimentos elicitados não são trabalhados, considera-se apenas o conhecimento consensual: como por exemplo, o especialista A afirma que determinada entidade biótica está classificada como gênero X e espécie Y, já o especialista B acredita que a mesma pertence ao gênero X e espécie Z. Não está no escopo desta pesquisa a realização de julgamento sobre a *expertise* do especialista. Advérbios de frequência devem ser considerados (sempre, as vezes, raramente, frequentemente, dificilmente, ocasionalmente, quase nunca, nunca, provavelmente, etc.). Estes advérbios são indicadores que orientam a busca/geração de novo conhecimento e precisam ser registrados.

Observando-se os modelos mentais apresentados anteriormente, pode-se inferir que:

- MM1 a MM4 foram elicitados com o especialista A e são compostos de informações científicas, e um pouco de práticas. O mesmo ocorre com o MM12 elicitado com o especialista C. Estes especialistas podem ser classificados como acadêmicos.
- MM5 a MM11c foram elicitados com o especialista B e constituem informações científicas mais técnicas e práticas, caracterizando um especialista com grande experiência científica, mas que “coloca a mão na massa“. Este especialista apesar da sua formação científica, é o tipo de perito que participa de todo o

processo de coleta do organismo. É o especialista praticante.

- MM13 a MM14 foram elicitados com um grupo de especialistas D e constituem conhecimento prático, resultado de anos de experiência. Especialistas samurais.

Os modelos mentais apresentados anteriormente, representam exatamente o resultado da transcrição das entrevistas com os especialistas, sem qualquer tipo de tratamento ou validação. A fim de ser utilizado neste *framework*, o conhecimento elicitado precisa ser tratado e validado. Este processo consiste de entrevistas adicionais e análises dos MMEs primários para garantir integridade semântica (uso de dicionário semântico do domínio), com o propósito de mitigar questões de interoperabilidade semântica. Não se pretende aqui avaliar o especialista ou o seu conhecimento, apenas compreendê-lo e registrá-lo. Nesse momento, o engenheiro da ontologia identifica o conhecimento que será considerado para utilização em instrumento de estruturação de conhecimento e o que será utilizado para anotação semântica. Eventualmente, um conhecimento elicitado não será incorporado à ontologia, seja por não ser formalizável (que não pode ser inteiramente ensinado, não completamente sistematizado ainda), seja por não apresentar aderência ao escopo da ontologia em questão. Neste caso, é indispensável manter o registro e documentação deste conhecimento: pode não ser adequado ao escopo da ontologia, mas sem dúvida pode ser utilizado para responder questões não contempladas pela ontologia em estudo de caso e para tanto, precisa ser recuperável. Neste estudo de caso, este conhecimento permitirá responder questões que se encontram além do escopo de domínio da OntoBio, justificando a utilização de um outro plano de representação do conhecimento que não a ontologia. O resultado do tratamento dos MMEs elicitados para uso no *framework* é apresentado no Apêndice C.

#### **4.1.2 Ferramentas para Geração dos Mapas Conceituais dos MMEs**

Algumas ferramentas computacionais são utilizadas para auxiliar o processo de elicitação do conhecimento. Há muitas disponíveis, no entanto, nos concentramos nas mais proeminentes, isto é xLine<sup>29</sup>, IThought<sup>30</sup>, SimpleMind<sup>31</sup>, entre outras. Estas ferramentas são dedicadas à elaboração de mapas conceituais que servem para organizar e representar o conhecimento, mas uma atenção especial é dedicada a algumas ferramentas que suportam o processo de elicitação de conhecimento, com uma longa história de uso na comunidade de aquisição de conhecimento e tem seu desenvolvimento fortemente influenciado pela Web, em particular, a Web Semântica (suportam a publicação de versões de modelos de conhecimento em HTML,

---

<sup>29</sup> <https://apps.adnx.com/en/apps/xLine>

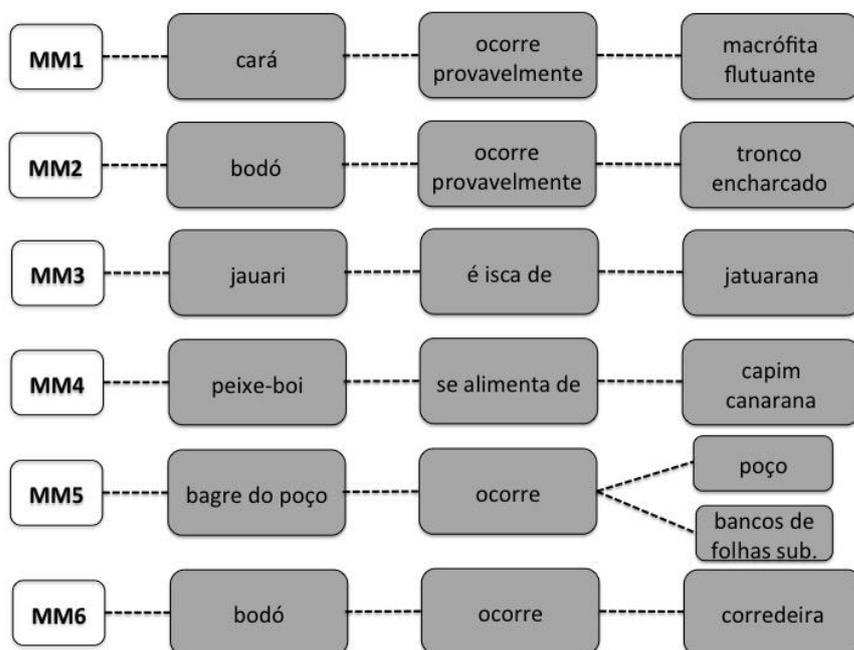
<sup>30</sup> <http://toketaware.com/ithoughts-new-home/>

<sup>31</sup> <http://www.simpleapps.eu/simplemind/desktop/osx/features>

permitindo que o mesmo seja acessado no contexto da Web convencional, bem como da Web da LOD).

Versões recentes do PCPACK<sup>32</sup> suportam a exportação de RDF (POWERS, 2003), enquanto *plug-ins* para eliciação de conhecimento no Protégé interoperam com o *plug-in* do Protégé-OWL provendo suporte à eliciação de conhecimento no contexto do desenvolvimento de ontologias (WANG et al., 2006). Há também iniciativas estendendo CmapTools<sup>33</sup> para prover suporte à visualização e edição de ontologias em OWL.

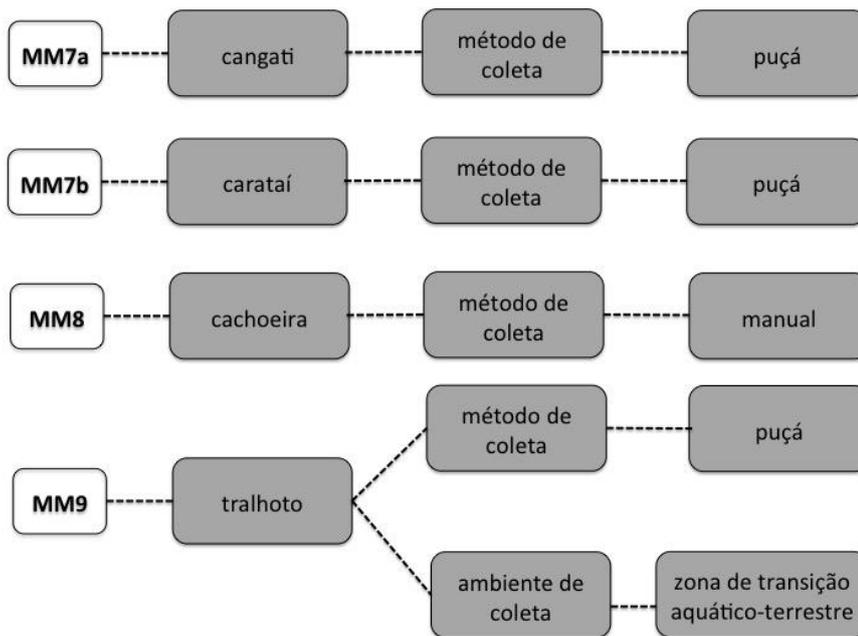
Para o propósito desta pesquisa, qualquer destas ferramentas de eliciação de conhecimento podem ser utilizadas para a representação dos MMEs elicitados em termos de mapas conceituais, uma vez que não há demanda de suporte semântico nesta etapa da pesquisa e as ferramentas são utilizadas apenas como fonte de visualização gráfica dos MMEs. Entretanto, ferramentas com suporte a OWL são recomendadas por permitirem suporte à formalização do conhecimento em termos de ontologias. A seguir, na Figura 15, estão representados os MMEs elicitados utilizando-se o SimpleMind.



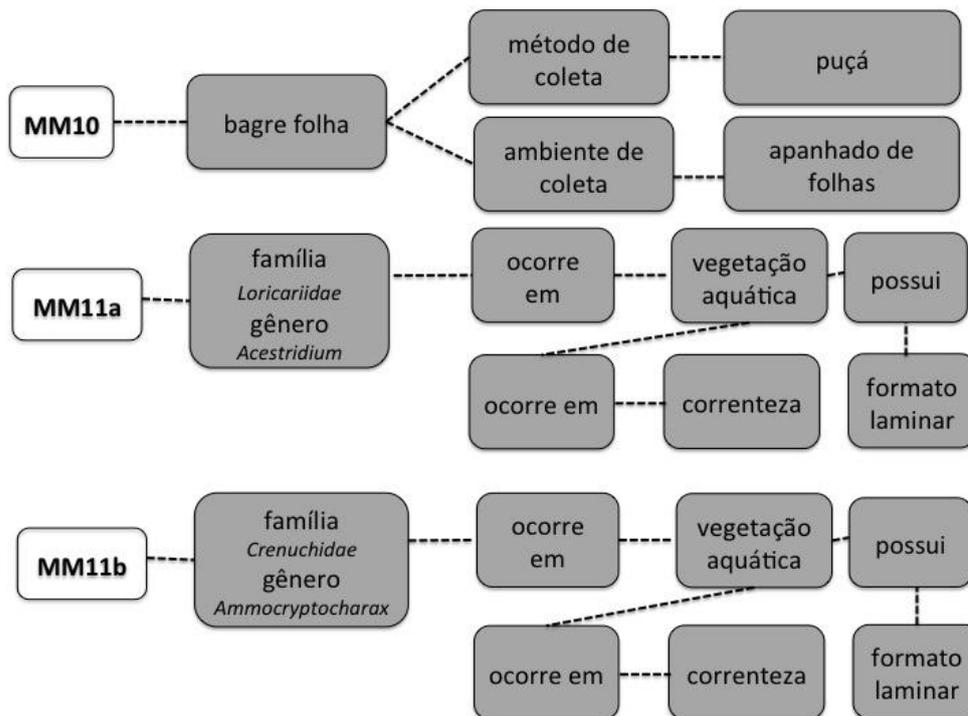
**Figura 15a** – MME1 a 6 elicitados e representados em forma de mapas conceituais.

<sup>32</sup><http://www.tacitconnexions.com/PCPACK%20download%20promo%20page.htm>

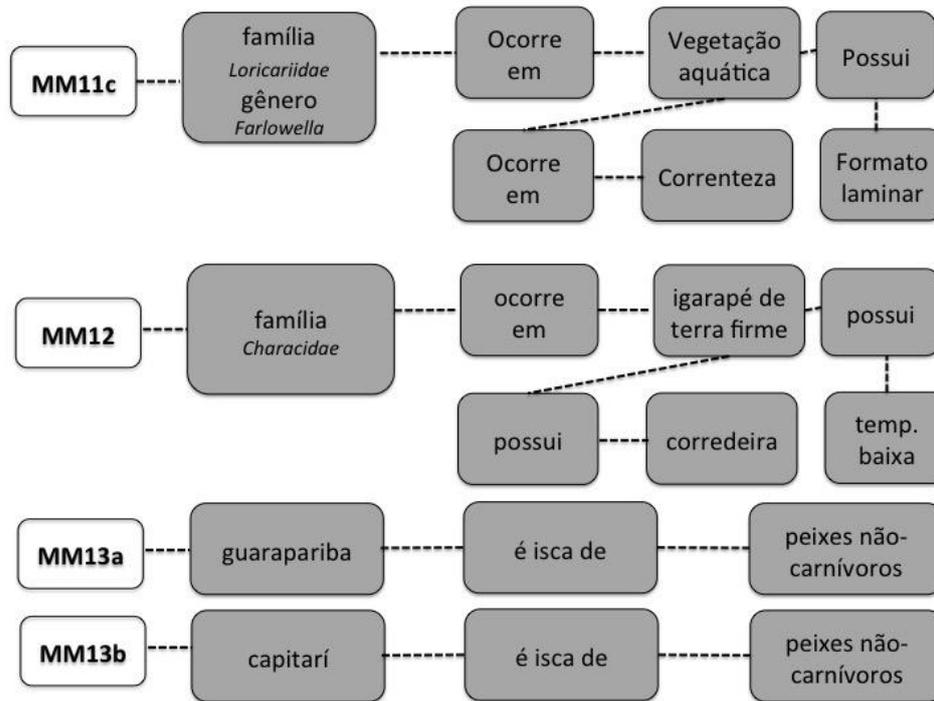
<sup>33</sup><http://cmap.ihmc.us/>



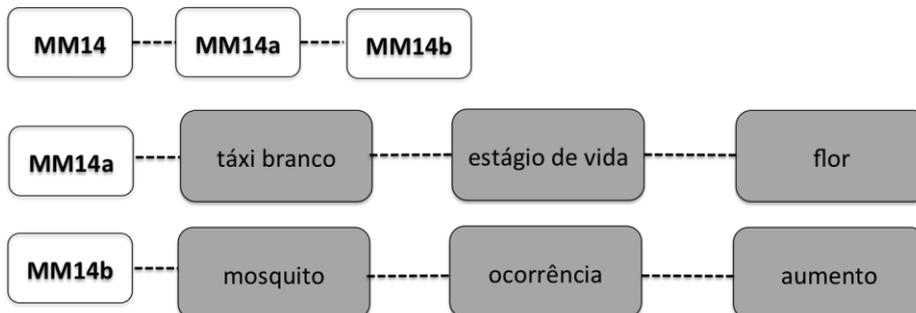
**Figura 15b** – MME7a a 9 elicitados e representados em forma de mapas conceituais.



**Figura 15c** – MME10 a 11b elicitados e representados em forma de mapas conceituais.



**Figura 15d** – MME12 a 13b elicitados e representados em forma de mapas conceituais.



**Figura 15e** – MME14a e 14b elicitados e representados em forma de mapas conceituais.

Na Figura 15 (a, b, e), torna-se claro alguns aspectos mencionados na seção 4.1.1. Por exemplo, o analista ao definir o mapa conceitual dos MMEs não considerou alguns aspectos dos MMEs 7 e 9 (Figura15b): o período de tempo indicado para a coleta e a justificativa da utilização do um método de coleta específico. No MME8, a pesca manual é um método de coleta para cachoeiras. Neste MME, *método de coleta (manual)* e *ambiente de coleta (cachoeira)* devem estar relacionados a uma *entidade biótica* (um organismo vivo, precisamente, um peixe); de fato, *entidade biótica* está associado a um *método de coleta*, *entidade biótica* tem um *ambiente de coleta* e o *ambiente de coleta* tem um *método de coleta* associado a uma *entidade biótica* específico. Durante a elicitação, o especialista não especificou um organismo. O analista não pode afirmar que todos os peixes encontrados no *ambiente de coleta cachoeira* pode ser capturado por pesca manual, mas é uma possibilidade.

*Método de coleta e ambiente de coleta* devem ser relacionados ao se modelar o domínio. Recursos gráficos para visualizar conhecimento são limitados e podem permitir perdas semânticas de conhecimento. Quando o analista está familiarizado com o conhecimento do domínio, o esquema de elicitação correspondente à entrevista é mais eficiente.

## **4.2 Gestão do Conhecimento Elicitado**

De maneira geral, o propósito de preservar o conhecimento e experiência organizacional é considerado quando se trata da elicitação do conhecimento. Os métodos apresentados como indicados para elicitação de conhecimento tácito individual requerem registro e armazenamento para consulta futura do material elicitado com o especialista. Este registro é importante pois normalmente este conhecimento é tratado pelo analista e este, por sua vez, possui um modelo mental pessoal do que é elicitado, com uma visão de mundo particular, algumas vezes confusa ou equivocada. Em alguns casos, nem tudo o que é elicitado, é considerado pelo analista em dado cenário (por questões de contexto), demandando que este conhecimento seja revisitado em outros momentos. Por vezes, alguns aspectos do que é elicitado só é considerado, ou só tem aderência a um novo cenário em um outro espaço no tempo. Ou ainda, em dado momento, determinado conhecimento não é formalizável, sendo utilizado em forma de anotação. Desta forma, manter um repositório com o registro da elicitação é mandatório: o esquema de elicitação e o EPF de cada MME. Esta demanda direciona à uma reflexão sobre qual arquitetura utilizar para gerenciar os registros do que foi elicitado.

Neste sentido foram realizadas pesquisas nas áreas de ciber-infraestrutura com os propósitos de avaliar: (i) O *Conceptual Landscape of Technology-Enabled Science (CLTES)* (DOWNEY e PENNINGTON, 2009), composto de modelo mental, projeto de pesquisa, coleta de dados, análise e divulgação; (ii) A arquitetura do GBIF (GBIF, 2014); (iii) Os sistemas brasileiros desenvolvidos para a biodiversidade, particularmente o trabalho desenvolvido pelo Biota/Fapesp (BIOTA-FAPESP, 2009); o Centro de Referência em Informação Ambiental (CRIA), arquitetura usada para Web Sites, Sistemas de Informação, ferramentas e banco de dados para uso geral (CRIA, 2012); Esquema CLOSi (CAMPOS DOS SANTOS, 2003); OntoBio (ALBUQUERQUE, 2011); o Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr)<sup>34</sup> e aplicações da web Semântica (ROCHA, 2012). Além de verificar o nível de aderência das iniciativas brasileiras em comparação com o CLTES e

---

<sup>34</sup> <http://www.sibbr.gov.br/>

GBIF, o propósito foi de identificar aspectos recomendáveis para um repositório de dados para biodiversidade [10]. Ainda, o sistema Mo Porã<sup>35</sup>, é uma iniciativa que objetiva o gerenciamento de rotinas operacionais definidas para projetos de pesquisas que atenda uma comunidade científica quando a interação ocorre de forma intensa. Isto é, gestão de grupos e subgrupos, repositórios e ferramentas colaborativas para análise, discussão e disseminação de resultados. Mõ Porã vem sendo utilizado atualmente na gestão dos projetos do LBA [12].

Com base nas pesquisas realizadas, concluiu-se que o compartilhamento dos dados das pesquisas mudou para práticas abertas (ARELLANO, 2010). O gerenciamento individual dos dados das pesquisas tende à utilização de repositórios de dados científicos e busca-se a transparência no tratamento dos dados.

O uso de repositórios e bibliotecas digitais está fortemente associado à preservação da informação e do conhecimento, do patrimônio cultural, científico e histórico, a investimentos em infraestruturas e serviços baseados nessa forma de preservação, memória e disseminação da informação e conhecimento.

Bibliotecas digitais podem ser definidas como um ambiente onde se juntam coleções, serviços e pessoal que dão apoio ao ciclo completo da criação, disseminação, uso e preservação dos dados, da informação e do conhecimento (RODRIGUES, 2003). Uma biblioteca digital consiste em conteúdos textuais ou não, interconexões e software (CUNHA, 2008). Consistem de um sistema de organização (formas de agrupamento dos conteúdos informacionais), sistema de rotulagem (denominação do grupo informacional), sistema de navegação (forma de interação do usuário com o ambiente e com o conteúdo informacional disponível, permitindo ao usuário ir de um ponto ao outro pelo caminho desejado, possibilitando melhor aproveitamento do tempo de uso ou de acesso), sistema de busca (formulação das expressões de busca para a recuperação dos documentos que correspondem à informação desejada – uso de metadados) (VIDOTTI e SANT’ANA, 2006; FERREIRA e SOUTO, 2006).

Dentre as diversas vantagens no uso de bibliotecas digitais, podem ser listadas (VICENTINI, 2006):

- Organização da informação;
- Armazenamento de grande quantidade de informação;
- Confiabilidade;
- Possibilidade de rotular documentos armazenados (*tags*);

---

<sup>35</sup> Do guarani, significa guardar em local seguro.

- Uso de metadados, imprescindível para busca e recuperação de informação;
- Facilidade de busca e recuperação da informação com novas ferramentas;
- Sem limitações de disponibilização do número de volumes;
- Maior qualidade e variedade de informação em formatos multimedia;
- Melhoria dos serviços de informação de forma contínua pela integração de novas ferramentas;
- Diminuição dos custos das coleções com o intercâmbio de recursos e cooperação entre redes de informação;
- Integração, difusão e democratização do conhecimento.

O repositório é um sistema automático usado para armazenar coleções de uma biblioteca digital e disseminá-las aos usuários<sup>36</sup>; aplicações provedoras de dados que são destinadas ao gerenciamento de informação e como vias alternativas de comunicação científica. O tipo de repositório digital é determinado pela aplicação e os objetivos ao qual se destina, além da ferramenta tecnológica que será adotada.

Bibliotecas foram sempre um desafio para os padrões e tecnologias desenvolvidas pelas atividades de WS. No entanto, com exceção do padrão Dublin Core<sup>37</sup>, tecnologias WS e de redes sociais não têm sido amplamente adotadas e desenvolvidas por importantes iniciativas de bibliotecas digitais e projetos (RAMALHO e FUJITA, 2008). No entanto, tecnologias semânticas oferecem um novo nível de flexibilidade, interoperabilidade e relacionamentos para repositórios digitais. Para a finalidade desta pesquisa, a utilização de uma biblioteca digital semântica (KRUK e MCDANIEL, 2009) é recomendada para gerir o conhecimento elicidado, uma vez que é um sistema de recuperação de informação semântica através de metadados semânticos. Difere das bibliotecas digitais tradicionais, porque o usuário pode navegar nos metadados mais facilmente, uma vez que não há conceitos soltos, mas relacionados pela ontologia subjacente (marcadores/*tags* semânticos). A biblioteca digital retém memória sobre o tema, mas com semântica (os termos da ontologia de domínio utilizada como estudo de caso ajudam na navegação sobre metadados e a localizar informações sobre o conhecimento elicidado; cada etapa do *framework* fica registrada na sua essência e associada semanticamente ao domínio), constituindo uma forma de organização de conhecimento. Desta forma, sugere-se a adoção de repositórios e bibliotecas digitais semânticas para armazenamento e gestão do material elicidado buscando preservação digital.

---

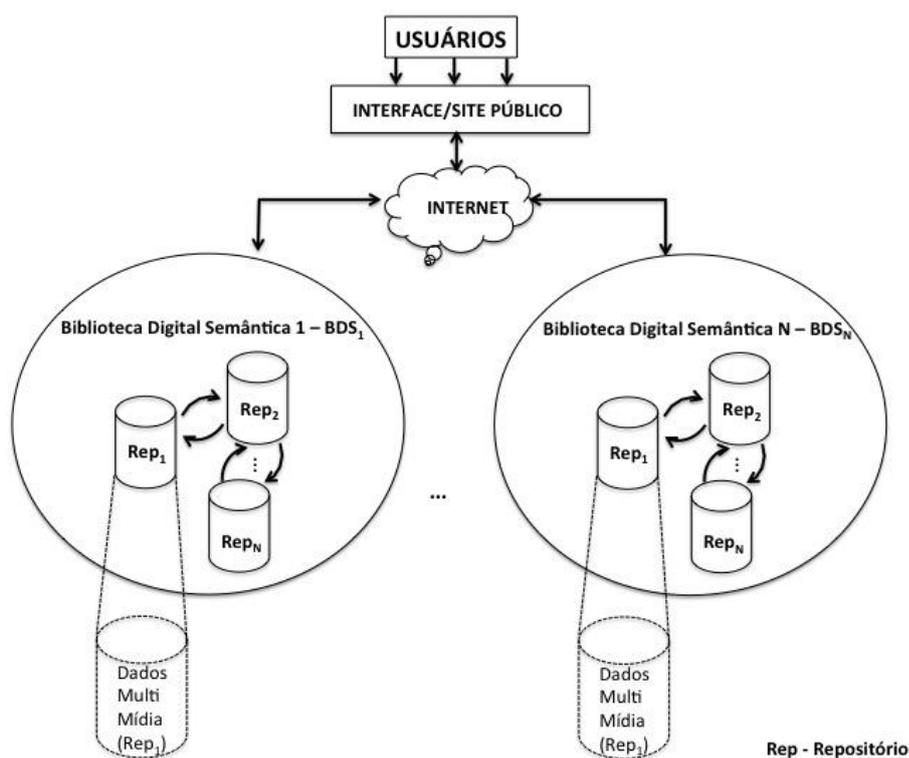
<sup>36</sup> [www.cs.cornell.edu/wya/DigLib/MS1999/glossary.html](http://www.cs.cornell.edu/wya/DigLib/MS1999/glossary.html)

<sup>37</sup> <http://dublincore.org/>

Adicionalmente, há alguns projetos tais como SIMILE<sup>38</sup>, Greenstone<sup>39</sup>, DELOS<sup>40</sup>, BRICKS<sup>41</sup>, DuraSpace (FEDORA, DSpace, Mulgara)<sup>42</sup>, JeromeDL<sup>43</sup> que utilizam semântica para organizar e gerenciar dados similar ao sugerido nesta seção.

#### 4.2.1 Arquitetura para Uso de Repositórios e Bibliotecas Digitais no *Framework* Conceitual

A Figura 16 ilustra uma arquitetura para o uso de repositórios e bibliotecas digitais para este propósito e baseia-se na definição de TOUTAIN, (2006). As bibliotecas digitais semânticas (BDSs) utilizam conteúdos informacionais em formatos digitais, em servidores próprios (Reps) ou distribuídos e acessados (interface/site público) via Internet em outras bibliotecas ou redes de bibliotecas da mesma natureza. Objetiva-se desta forma, a organização, categorização e estruturação de recursos de informação (dados multimídia) de forma que possam ser armazenados, publicados, reutilizados e editados com maior flexibilidade.



**Figura 16** - Arquitetura de repositórios e bibliotecas digitais sugerida para gerência de registros da elicitação de conhecimento.

Esta arquitetura de bibliotecas digitais semânticas faz parte do *framework* proposto para

<sup>38</sup> <http://simile.mit.edu/>

<sup>39</sup> <http://www.greenstone.org/>

<sup>40</sup> <http://delos.info/>

<sup>41</sup> <http://www.brickcommunity.org/>

<sup>42</sup> <http://www.fedora-commons.org/>

<sup>43</sup> <http://www.jeromedl.org/>

responder questões que a OntoBio não contempla, uma vez que mantém o registro do conhecimento elicitado e do EPF. Desta forma, além de guiar o processo da evolução da ontologia em estudo (OntoBio), atualizando e melhorando a mesma, o *framework* proposto também provê recursos para responder mais questões a cerca do domínio e melhor do que respondia antes e também responder questões não consideradas no escopo da ontologia.

Como exemplo do que foi explicitado anteriormente, considerar o MM14. Táxi branco, seu estágio de vida e mosquito. Estes objetos estão representados na OntoBio, mas não estão relacionados entre si. Quando se registra este conhecimento, é possível inferir sobre o aumento do foco de mosquito associando-o à florescência do táxi branco.

## **CAPÍTULO 5 – FORMALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO ELICITADO (E2)**

*Neste capítulo são apresentados os principais aspectos relacionados ao processo de formalização do conhecimento elicitado em E1, bem como as técnicas utilizadas para a formalização deste conhecimento durante o desenvolvimento da E2 do framework conceitual proposto. Os MMEs deverão ser modelados conceitualmente através de um Esquema Progressivo de Formalização (EPF), gerando as Bases de Conhecimento Especialista (BCEs). Os EPFs resultantes desta etapa, constiuem um dos outputs do framework.*

Esta investigação considera o conhecimento encontrado nos modelos mentais dos peritos de biodiversidade e torna-o explícito através de um EPF. Os MMEs são modelados conceitualmente através de um EPF, gerando as Bases de Conhecimento Especialista (BCEs);

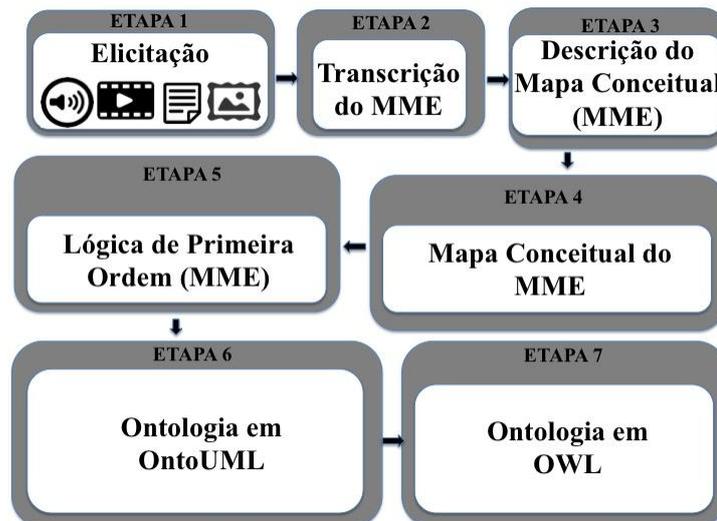
Apesar de todas as possibilidades de formalismo para RC, é importante ressaltar que o conhecimento tácito é mais rico do que qualquer descrição do mesmo e eventualmente, perdas de semântica podem ocorrer durante o processo de formalização, uma vez que os recursos para formalização disponíveis, sejam estes originários da matemática ou filosofia, ainda não são suficientes para representar o conhecimento tácito em sua essência.

Associações transversais de formalismos para RC podem ser consideradas, permitindo a seleção de acordo com um critério: cientistas, pescadores, curadores, etc., em um mesmo contexto ou tema.

### **5.1 Formalização dos MMEs (E2)**

Durante a aplicação do EPF no estudo de caso que utiliza a OntoBio, foram consideradas as seguintes representações do conhecimento, conforme Figura 17:

Neste capítulo serão apresentados as etapas 5, 6 e 7.



**Figura 17** – Modelo de EPF utilizado no estudo de caso da OntoBio.

## 5.2 Representação dos MMEs em Lógica de Primeira Ordem

A razão pela qual lógica é relevante para a representação de conhecimento e raciocínio é que, a lógica é o estudo da vinculação relações-linguagens, condições de verdade, e regras de inferência (BRACHMAN e LEVESQUE, 2004). Especificamente, será utilizada neste estágio da pesquisa a Lógica de Primeira Ordem (LPO) ou Cálculo Predicado de Primeira Ordem (CPPO), que é apenas um ponto de partida, uma lógica simples para formalização de conhecimento. Esta linguagem foi definida pelo filósofo Gottlob Frege na virada do século XX para a formalização de inferência matemática, mas tem sido adotada pela comunidade de IA para fins de representação do conhecimento (BRACHMAN e LEVESQUE, 2004).

A linguagem da LPO, é construída em torno de objetos e relações. LPO tem sido importante para a Matemática, Filosofia e Inteligência Artificial, porque nesses campos do conhecimento, muito do cotidiano da existência humana, pode ser pensado como objetos e as relações entre eles. LPO também pode expressar fatos sobre algum ou todos os objetos do universo. Isto permite que se representem leis ou regras gerais (RUSSELL e NORVIG, 2010).

A seguir serão apresentados os MMEs elicitados, representados em LPO.

MM1 -  $\forall \text{MacrófitaFlutuante} \Rightarrow \exists \text{Cará} \mid [\text{Ambiente}(\text{MacrófitaFlutuante}) \wedge \text{EntidadeMaterial}(\text{Cará}) \wedge \text{éCompostoPor}(\text{MacrófitaFlutuante}, \text{Cará})]$

MM2 -  $\forall \text{TroncoEncharcado} \Rightarrow \exists \text{Bodó} \mid [\text{Ambiente}(\text{TroncoEncharcado}) \wedge$

EntidadeMaterial(Bodó)  $\wedge$  éCompostoPor(TroncoEncharcado, Bodó)]

**MM3a** -  $\forall$  Jauari  $\Rightarrow \exists$  Jatuarana | [EntidadeMaterial(Jatuarana)  $\wedge$  MétodoDeColeta(Isca(Jauari))  $\wedge$  Possui((Isca(Jauari), Jatuarana)]

Ou ainda,

**MM3b** -  $\forall$  Jauari  $\Rightarrow \exists$  Jatuarana | [EntidadeMaterial(Jatuarana)  $\wedge$  EntidadeBiótica (Jauari)  $\wedge$  SeAlimentaDe(Jauari, Jatuarana)]

**MM4** -  $\forall$  Peixe-Boi  $\Rightarrow \exists$  CapimCanarana | [EntidadeMaterial(PeixeBoi)  $\wedge$  HábitoAlimentar(Herbivoro (CapimCanarana))  $\wedge$  Possui(PeixeBoi, CapimCanarana)]

**MM5** -  $\forall$  Poço, BancosFolhasSubmersas  $\Rightarrow \exists$  BagreDoPoço, | [EntidadeMaterial(BagreDoPoço)  $\wedge$  Ambiente(Poço)  $\wedge$  éCompostoPor(Poço, BagreDoPoço)]  $\vee$  [EntidadeMaterial(BagreDoPoço)  $\wedge$  Ambiente(BancosFolhasSubmersas)  $\wedge$  éCompostoPor(BancosFolhasSubmersas, BagreDoPoço)]

**MM6** -  $\forall$  Corredeira  $\Rightarrow \exists$  Bodó | [Ambiente(Corredeira)  $\wedge$  EntidadeMaterial(Bodó)  $\wedge$  éCompostoPor(Corredeira, Bodó)]

**MM7a** -  $\forall$  Puçá  $\Rightarrow \exists$  Cangati | [EntidadeMaterial(Cangati)  $\wedge$  MétodoDeColeta(Puçá)  $\wedge$  Possui(Puçá, Cangati)]

**MM7b** -  $\forall$  Puçá  $\Rightarrow \exists$  Carataí | [EntidadeMaterial(Carataí)  $\wedge$  MétodoDeColeta(Puçá)  $\wedge$  Possui(Puçá, Carataí)]

**MM8** -  $\forall$  ColetaManual  $\Rightarrow \exists$  Cachoeira | [Ambiente(Cachoeira)  $\wedge$  MétodoDeColeta(ColetaManual)  $\wedge$  Possui(Cachoeira, ColetaManual)]

**MM9** -  $\forall$  Puçá, ZonaTransiçãoAquáticoTerrestre  $\Rightarrow \exists$  Tralhoto | [Ambiente(ZonaTransiçãoAquáticoTerrestre)  $\wedge$  EntidadeMaterial(Tralhoto)  $\wedge$  MétodoDeColeta (Puçá)  $\wedge$  éCompostoPor(ZonaTransiçãoAquáticoTerrestre, Tralhoto, Puçá)]

**MM10** -  $\forall$  Puçá, ApanhadoFolhas  $\Rightarrow \exists$  BagreFolha | [Ambiente(ApanhadoFolhas)  $\wedge$  EntidadeMaterial(BagreFolha)  $\wedge$  MétodoDeColeta

(Puçá)  $\wedge$  éCompostoPor(ApanhadoFolhas, BagreFolha, Puçá)]

**MM11a** -  $\forall$  VegetaçãoAquática, Correnteza  $\Rightarrow \exists$  Ambiente  
(VegetaçãoAquática, Correnteza) | [Ambiente(Correnteza)  $\supset$  Ambiente  
(VegetaçãoAquática)  $\wedge$   
 $\forall$  Ambiente (VegetaçãoAquática, Correnteza)  $\Rightarrow \exists$   
Acestridium | [Ambiente(VegetaçãoAquática, Correnteza)  $\wedge$   
EntidadeMaterial(Acestridium)  $\wedge$  éCompostoPor(VegetaçãoAquática, Correnteza,  
Acestridium)]

**MM11b** -  $\forall$  VegetaçãoAquática, Correnteza  $\Rightarrow \exists$  Ambiente  
(VegetaçãoAquática, Correnteza) | [Ambiente(Correnteza)  $\supset$  Ambiente  
(VegetaçãoAquática)  $\wedge$   
 $\forall$  Ambiente (VegetaçãoAquática, Correnteza)  $\Rightarrow \exists$   
Ammocryptocharax | [Ambiente(VegetaçãoAquática, Correnteza)  $\wedge$   
EntidadeMaterial(Ammocryptocharax)  $\wedge$  éCompostoPor(VegetaçãoAquática,  
Correnteza, Ammocryptocharax)]

**MM11c** -  $\forall$  VegetaçãoAquática, Correnteza  $\Rightarrow \exists$  Ambiente  
(VegetaçãoAquática, Correnteza) | [Ambiente(Correnteza)  $\supset$  Ambiente  
(VegetaçãoAquática)  $\wedge$   
 $\forall$  Ambiente (VegetaçãoAquática, Correnteza)  $\Rightarrow \exists$  Farlowella  
| [Ambiente(VegetaçãoAquática, Correnteza)  $\wedge$  EntidadeMaterial(Farlowella)  $\wedge$   
éCompostoPor(VegetaçãoAquática, Correnteza, Farlowella)]

**MM12** -  $\forall$  IgarapéDeTerraFirme  $\Rightarrow \exists$  TemperaturaBaixa |  
[Ambiente(IgarapéDeTerraFirme)  $\wedge$  CondiçãoDoTempo(TemperaturaBaixa)  $\wedge$  Compõe  
(IgarapéDeTerraFirme, Temperatura) Ambiente (Corredeira)  $\wedge$   
 $\forall$  Corredeira, IgarapéDeTerraFirme  $\Rightarrow \exists$  Ambiente  
(Corredeira, IgarapéDeTerraFirme) | [Ambiente(IgarapéDeTerraFirme)  $\supset$   
Ambiente (Corredeira)  $\wedge$   
 $\forall$  Ambiente (Corredeira, IgarapéDeTerraFirme)  $\Rightarrow \exists$   
Characidae | [Ambiente(Corredeira, IgarapéDeTerraFirme)  $\wedge$   
EntidadeMaterial(Characidae)  $\wedge$  éCompostoPor(Corredeira,  
IgarapéDeTerraFirme, Characidae)]

**MM13a** -  $\forall X \Rightarrow \exists \neg$ Carnívoro | [EntidadeMaterial(X)  $\wedge$  HábitoAlimentar  
( $\neg$ Carnívoro)  $\wedge$  Possui(X,  $\neg$ Carnívoro)]  $\wedge$

$$\forall \text{ Guarapariba} \Rightarrow \exists X \mid [\text{EntidadeMaterial}(X) \wedge \text{MétodoDeColeta}(\text{Isca}(\text{Guarapariba})) \wedge \text{Possui}(\text{Isca}(\text{Guarapariba}), X)]$$

MM13b –  $\forall X \Rightarrow \exists \neg\text{Carnívoro} \mid [\text{EntidadeMaterial}(X) \wedge \text{HábitoAlimentar}(\neg\text{Carnívoro}) \wedge \text{Possui}(X, \neg\text{Carnívoro})] \wedge$

$$\forall \text{ Capitari} \Rightarrow \exists X \mid [\text{EntidadeMaterial}(X) \wedge \text{MétodoDeColeta}(\text{Isca}(\text{Capitari})) \wedge \text{Possui}(\text{Isca}(\text{Capitari}), X)]$$

MM14 -  $\forall \text{ TáxiBranco} \Rightarrow \exists \text{ Flor, Mosquito} \mid [\text{Possui}(\text{Flor}, \text{TáxiBranco}) \wedge \text{EntidadeMaterial}(\text{TáxiBranco}) \wedge \text{EntidadeMaterial}(\text{Mosquito}) \wedge \text{SujeitoOcorrenciaDe}(\text{Mosquito}, \text{TáxiBranco})]$

A representação em LPO dos MMEs neste capítulo nos permite algumas considerações:

- A formalização do conhecimento nas etapas 5, 6 e 7 do EPF deve utilizar a ontologia de domínio objeto de estudo para guiar o processo. Nestas etapas o engenheiro do conhecimento já poderá identificar conceitos e relações similares, bem como aqueles que não existem na ontologia de referência;
- As representações dos MMs 11a, 11b, 11c e 14 em LPO apresentam perda semântica por limitação do recurso de representação do conhecimento.

### 5.3 Representação dos MMEs em OntoUML

O esquema ontológico em OntoUML dos MMEs foi projetado de forma similar ao da OntoBio.

A escolha da OntoUML justifica-se por se tratar de uma linguagem de modelagem de ontologias conceituais baseada em ontologias de fundamentação e também por ter sido a escolha para desenvolvimento da OntoBio utilizando-se o método SABIO (FALBO, 2004; FALBO et al., 1998). Seguindo essa abordagem, Guizzardi propôs uma linguagem de modelagem conceitual que contempla como primitivas de modelagem as distinções ontológicas proposta pela ontologia UFO-A (GUIZZARDI, 2005). Essa linguagem (atualmente denominado de OntoUML) foi construída seguindo um processo no qual: (i) o metamodelo da linguagem original (no caso, a UML 2.0) é reparado para garantir um isomorfismo em seu mapeamento para a estrutura definida pela ontologia de referência (no caso, UFO-A); (ii) em segundo lugar, a axiomatização da ontologia de fundamentação é transferida para o metamodelo da linguagem, por meio de restrições formais incorporadas a

esse metamodelo. O objetivo é garantir que a linguagem só admitirá como modelos gramaticalmente válidos aqueles modelos que satisfazem (do ponto de vista lógico) a axiomatização de UFO, ou seja, aqueles modelos que são considerados válidos segundo essa teoria. Essa linguagem também incorpora um conjunto de padrões de modelagem de ontologias (*ontological design patterns*) para solução de alguns problemas clássicos de modelagem no que diz respeito a, por exemplo, modelagem de papéis (GUIZZARDI et al., 2004), resolução do problema de transitividade da relação todo-parte (GUIZZARDI, 2008) e resolução do problema de colapso de restrições de cardinalidade (GUIZZARDI e WAGNER, 2008). Além disso, em (GUIZZARDI, 2005) é proposto um conjunto de diretivas metodológicas para a criação de ontologias usando a linguagem OntoUML.

Tanto a ontologia de fundamentação UFO quanto a linguagem OntoUML tem sido utilizadas em diversos estudos de caso de construção de ontologias de domínio, bem como no desenvolvimento de aplicações baseadas nessas ontologias. Exemplos de domínios abordados incluem Eletrocardiologia (GONÇALVES et al., 2009), Exploração e Produção de Petróleo (GUIZZARDI, 2009), entre outros. Mais aplicações da OntoUML e diretivas de uso podem ser encontradas em <http://www.menthor.net/>.

O esquema ontológico deve ser projetado utilizando-se uma ferramenta com suporte gráfico à UML. A ferramenta utilizada nesta etapa do EPF foi o *Enterprise Architect*<sup>44</sup>. Uma vez que o esquema ontológico esteja concluído, o mesmo deverá ser exportado como arquivo XMI. O arquivo XMI exportado deverá ser importado pela ferramenta OntoUML LightWeight Editor OLED<sup>45</sup>.

O OLED (agora conhecido como Menthor – <http://www.menthor.net>) é um ambiente para o desenvolvimento, avaliação e implementação de ontologias de domínio, usando a linguagem de modelagem ontologicamente fundamentada OntoUML com base na UFO. OLED suporta modelos do *Sparx Enterprise System Architect*.

## 5.4 Representação dos MMEs em OWL

Para a representação dos MMEs em OWL, é recomendado o uso de um editor de ontologias como o *Protégé* (NOY et al., 2001).

O *Protégé* além de um editor, também é um *framework* para aquisição de conhecimento, de código aberto e gratuito. Uma das principais características dessa ferramenta é dar suporte para duas formas de implementação e modelagem de ontologias:

---

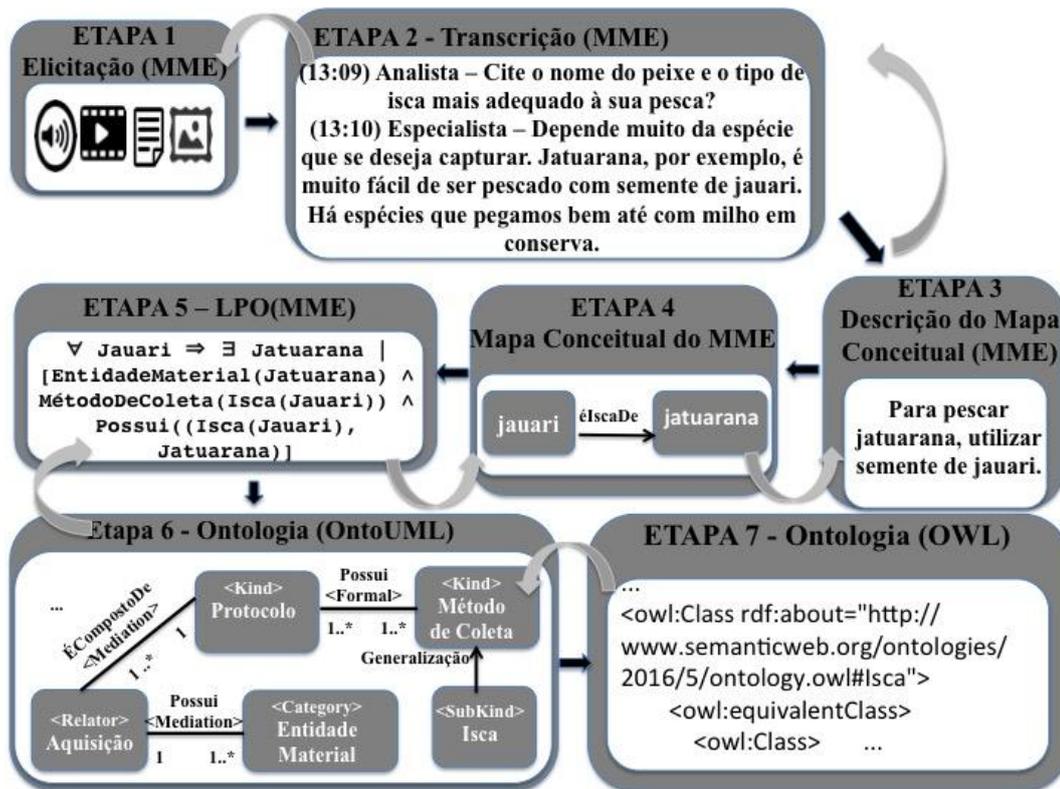
<sup>44</sup> <http://www.sparxsystems.com.au/products/ea/>

<sup>45</sup> <https://dl.dropbox.com/u/14756718/OLED.jar> ; <http://nemo.inf.ufes.br/projects/oled/>

uma baseada em *frames* e a outra que foi utilizada neste trabalho, baseada na linguagem OWL. O Protégé é uma ferramenta desenvolvida na linguagem Java, que suporta *plugins* para estender as suas funcionalidades e também prover uma base flexível para o desenvolvimento de protótipos e aplicações de maneira eficiente.

Ainda que o OLED permita a geração automática do código OWL do esquema ontológico projetado, é importante lembrar que uma linguagem no nível de análise para ontologias como a OntoUML apresenta maior poder de expressividade que uma linguagem para ontologias no nível de implementação, como a OWL. Desta forma, um código em OWL gerado automaticamente certamente não refletirá a realidade modelada, demandando ajustes para manutenção da integridade do que foi modelado, justificando assim o uso do Protégé para tal. Esta é uma questão recorrente no desenvolvimento de ontologias que ainda requer investigação e solução.

A Figura 18 a seguir ilustra o EPF completo referente ao MM3 (Apêndice C). Os Apêndices D e E apresentam as representações em OntoUML e OWL do MM3. Desta forma, o leitor poderá visualizar na sua completude o EPF do MM3. Optou-se por não apresentar as representações dos demais MMs neste documento devido à extensão dos esquemas OntoUML e códigos OWL. Os mesmos encontram-se disponíveis para consulta em [portal.inpa.gov.br/ctin/lis/frameworkconceitual/](http://portal.inpa.gov.br/ctin/lis/frameworkconceitual/).

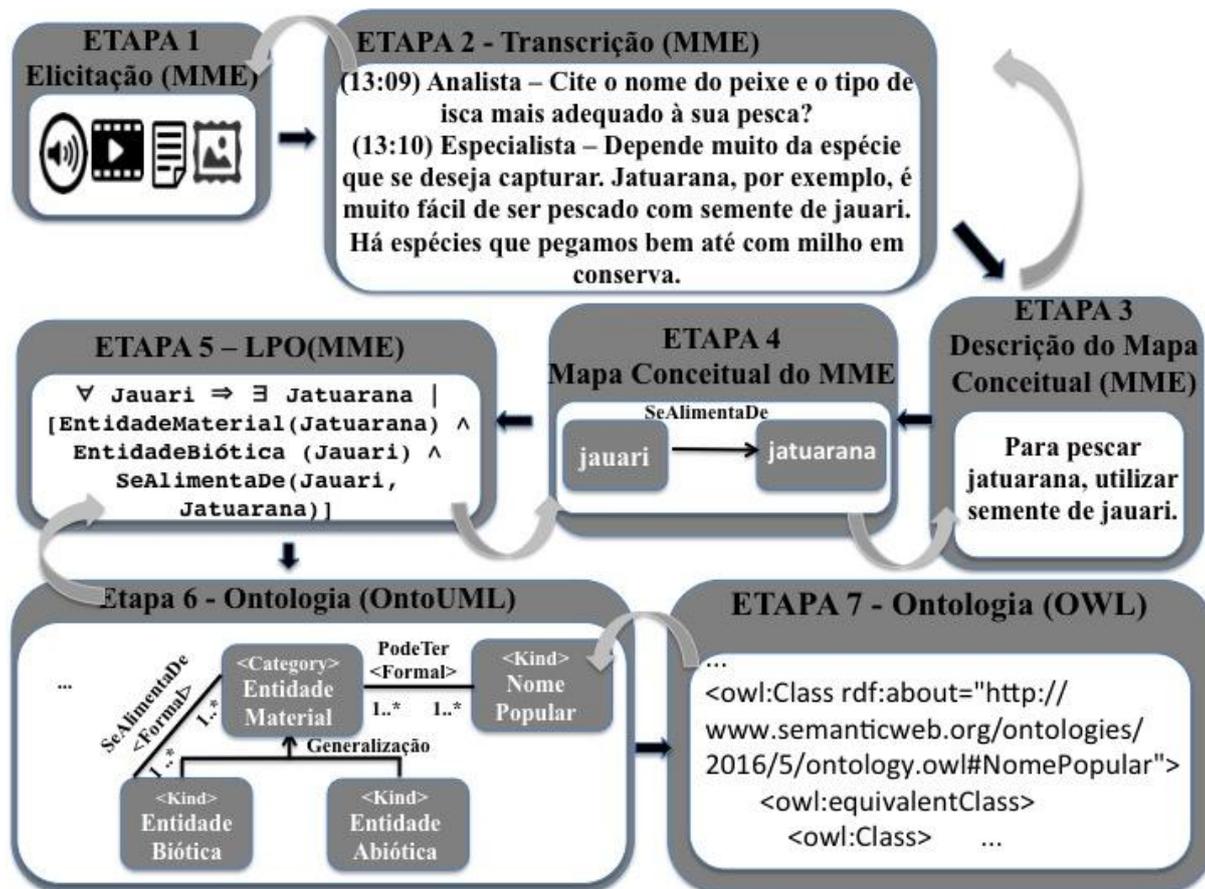


**Figura 18** – EPF do MM3a, considerando jauari como isca.

Há mais de uma forma de compreender o conhecimento e, sendo assim, mais de uma forma de formalizá-lo. Isto implica que um mesmo MM pode possuir mais de um EPF associado a ele.

Na Figura 18, jauari foi entendido e formalizado pelo analista como sendo um tipo de isca. E isca é uma especialização do método de coleta adotado para captura do organismo vivo (peixe) (MM3a).

Se jauari for compreendido como sendo alimento de jatuarana, o EPF associado apresentaria outra configuração conforme Figura 19. A mesma situação ocorre com os MMs 13a e 13b.



**Figura 19** – EPF do MM3b, considerando jauari como alimento.

Observando-se as Figuras 18 e 19, torna-se evidente a perda de semântica durante os diversos níveis de representação do conhecimento utilizados no EPF. Por exemplo, o fato de que a parte do jauari que atrai a jatuarana, é a semente (e não a casca do tronco ou do fruto, ou folha ou polpa do fruto). Entretanto, é possível visualizar a partir do fluxo original de formalização, do nível mais simples de representação do conhecimento (aqui ilustrado pela gerência das mídias que armazenam o conhecimento elicitado e podem fazer uso de *tags* para facilitar o processo) até o atualmente considerado mais formal (a ontologia), que a perda existiu na transição de uma forma de representação para outra, mas o conhecimento continua intacto e pode ser recuperado quando se altera o sentido de navegação das diferentes formalizações apresentadas (setas cinza claro, *backtracking*).

## **CAPÍTULO 6 – FLUXO DE COMPOSIÇÃO DO CONHECIMENTO FORMALIZADO (E3), RECOMENDAÇÕES PARA EVOLUÇÃO DA ONTOLOGIA (E4) E AVALIAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES PARA EVOLUÇÃO (E5)**

*Neste capítulo são apresentadas as principais soluções relacionadas à aplicação do conhecimento, formalizado em E2: este conhecimento pode ser utilizado na composição das BCEs e OntoBio, com o propósito de estabelecer a correspondência e novos conceitos entre as ontologias (E3); uma vez que a correspondência entre as ontologias esteja estabelecida, é possível definir um mecanismo para evolução da ontologia em estudo (E4); de posse da recomendação para evolução da ontologia em estudo, é possível avaliá-la e definir sobre a factibilidade do uso da mesma (E5). As etapas E3 e E4 serão apresentadas a nível de concepção das atividades.*

### **6.1 Composição das BCEs e OntoBio (E3)**

A composição das BCEs e OntoBio é realizada através da correspondência entre ontologias<sup>46</sup>, que identifica mapeamentos semânticos (correspondências com base na semântica) entre duas ontologias e encontra-se em várias aplicações de processamento de informação. Aplicações que envolvem múltiplas ontologias devem estabelecer mapeamentos semânticos entre elas, para garantir a interoperabilidade.

#### **6.1.1 Correspondência entre Ontologias no Contexto do Framework Conceitual para Integração de Conhecimento**

A composição das BCEs e OntoBio identifica conhecimento que é correspondente nas ontologias e novos conhecimentos que ainda não estão estruturados na OntoBio. O mecanismo de composição das ontologias desempenha funções de comunicação, de troca, manutenção da verdade e integração. Além disso, considera a natureza das ontologias (independente, dependente, conflitantes, complementares, etc.). Uma visão geral da arquitetura de E3 é apresentada na Figura 20.

BCEs e OntoBio são a entrada (*input*) desta etapa. A correspondência entre as ontologias é verificada para oferecer uma visão única do que foi elicitado, do que já está estruturado na OntoBio e o que não está e ocorre individualmente entre cada BCE e a

---

<sup>46</sup> Correspondência entre ontologias será o termo adotado nesta pesquisa para se referir a *Ontology Matching* (<http://ontologymatching.org/>).

OntoBio. Ainda, é necessária para identificar aspectos de complementaridade, concordância, divergência e independência entre as ontologias.

Alguns conceitos de manutenção de ontologia orientam esta composição: alinhamento; evolução; fusão; integração; e controle de versão (FLOURIS et al., 2008).

Os mecanismos para correspondência entre ontologias são utilizados para orientar a composição das diferentes ontologias utilizadas como entrada, de tal maneira que o engenheiro de ontologia pode analisar os conceitos destes esquemas ontológicos e verificar se correspondem/complementam um ao outro. Os conceitos que pertencem às duas estruturas são mapeados para análise das suas formas semânticas e estruturais, e os que não pertencem a nenhuma estrutura, são classificados como novos conceitos para OntoBio.

A saída (*output*) é representada pelas respostas fornecidas pelos analisadores.

Uma das grandes dificuldades em realizar a correspondência entre ontologias está relacionada aos diversos conflitos que podem acontecer quando é feita a comparação entre seus termos, como por exemplo (EUZENAT e SHVAIKO, 2013):

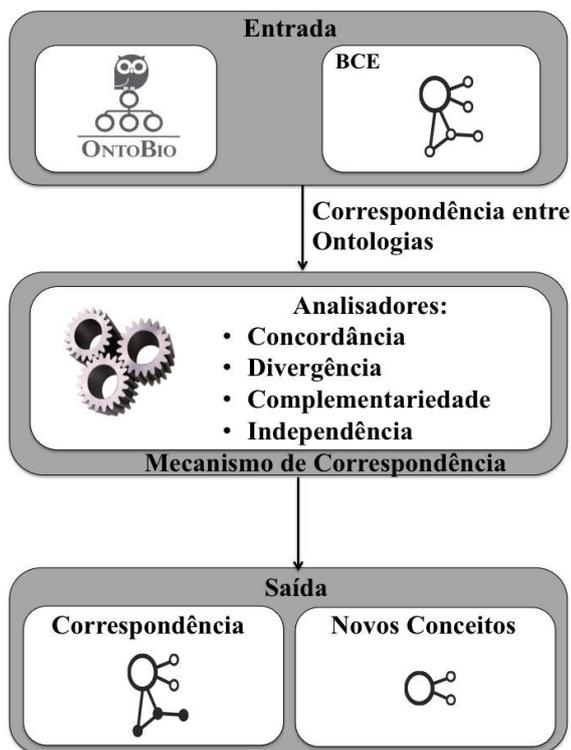
1 - Conflitos sintáticos : ocorrem quando duas (ou mais) ontologias a serem comparadas não estão sendo expressas numa mesma linguagem de representação de ontologias. Este conflito não acontece no *framework* conceitual, uma vez que as ontologias submetidas ao processo de correspondência usam a mesma linguagem de representação. Durante o EPF a representação do conhecimento como ontologia deve seguir o mesmo padrão de implementação utilizado na ontologia de referência;

2 - Conflitos terminológicos: quando há variação de nomes ao nos referirmos à mesma entidade em diferentes ontologias. Exemplo: se utilizarmos sinônimos como cachoeira e corredeira ou variação como queda-d'água e queda. Este problema é mitigado durante a aplicação do *framework* conceitual uma vez que durante a fase de elicitación dos MMEs, adota-se o uso de dicionário semântico do domínio (conforme mencionado na seção 4.6.1) que deve ser elaborado com base na ontologia de referência;

3 - Conflitos semânticos: quando diferentes axiomas ou regras são utilizados para definir o mesmo conceito em ontologias diferentes. Isto também acontece quando descrevemos um conceito sobre uma mesma perspectiva, porém com diferentes níveis de detalhes. Inevitavelmente este conflito pode acontecer durante a aplicação do arcabouço pois as BCEs são definidas com base nos MMEs, de acordo com as diferentes visões de mundo sobre o mesmo tema salientando os diferentes perfis de especialistas e a ontologia de referência é definida de acordo com outra visão de mundo. Entretanto, o *framework* conceitual se limita a tratar conhecimento consensual o que reduz os conflitos semânticos

(conforme mencionado na seção 4.1.1).

Ressalta-se ainda que grande parte destes conflitos são minimizados uma vez que o *framework* conceitual requer a adoção da ontologia (OntoBio) para guiar o processo de formalização, principalmente nos níveis de maior formalidade do EPF (ontologia).



**Figura 20** – Esquema simplificado da composição das BCEs e OntoBio.

Apesar de sua aplicabilidade, hoje, a correspondência entre ontologias é ainda, em grande parte, realizada manualmente, em um processo de trabalho intensivo e propenso a erros. A correspondência entre ontologias feita de forma manual tornou-se um gargalo na construção de sistemas de gestão de informação de larga escala. O advento de tecnologias como a Web, XML, e o surgimento da WS impulsionam aplicações de compartilhamento de informações e agravam o problema. Por isso, o desenvolvimento de ferramentas para auxiliar o processo de correspondência entre ontologias tornou-se crucial para o sucesso de uma ampla variedade de aplicações de gestão de informação (DOAN et al., 2004).

## **6.2 Processo de Evolução da OntoBio (E4)**

Esta etapa tem como objetivo estabelecer um ciclo de evolução de uma ontologia de domínio formal, no qual a ontologia resultante das mudanças recomendadas continue consistente e

coerente. Concentra-se na evolução de ontologias como um processo de enriquecimento semântico o que permite à ontologia representar conhecimento anteriormente não contemplado, e por consequência, aumento de expressividade. O *E4* faz uso da composição das BCEs e a OntoBio (resultado de *E3* – correspondência entre as ontologias e novos conceitos), para recomendar as mudanças para evolução da OntoBio.

### **6.2.1 Estratégia de Evolução de Ontologias no Contexto do Framework Conceitual**

Esta etapa do *framework* conceitual (*E4*) objetiva definir recomendações (ECFs) para a evolução da ontologia a partir das BCEs. A estratégia para evolução da OntoBio segue três passos conforme apresentado na Figura 21.

O Passo 1, considera dois conjuntos de conceitualizações como entrada (resultado do *E3*):

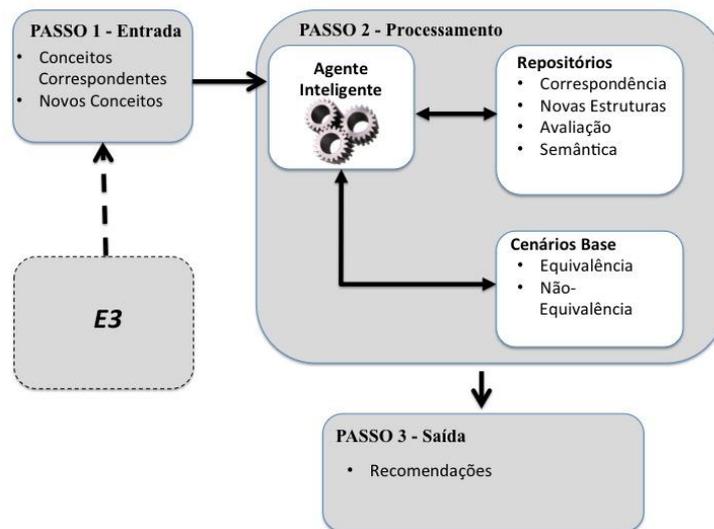
- a. Aqueles que apresentam correspondência entre OntoBio e BCEs;
- b. Aqueles classificados como sendo novos conceitos.

No Passo 2, o agente inteligente responsável pelo processo de gerenciamento de mudança para a evolução da ontologia, recebe os dois conjuntos de conceitualizações do Passo 1.

Os componentes do passo 2 são utilizados para fornecer um conjunto de recomendações para evolução da ontologia, incluindo suas semânticas. Estas mudanças são armazenados nos repositórios.

Existem quatro repositórios diferentes:

- a. Repositório de Correspondência: Armazena as informações sobre as correspondências geradas entre os conceitos da OntoBio e das BCEs;
- b. Repositório de Novas Estruturas: Armazena a semântica das sugestões detectadas para a evolução do OntoBio;
- c. Repositório de Avaliação: Armazena informações para determinar se a OntoBio deve ser reestruturada.
- d. Repositório Semântico: Contém informação semântica sobre as estruturas utilizadas no processo de evolução. Esta informação pode ser de três tipos:
  - i. Contextualização: Corresponde à definição dos conceitos;
  - ii. Equivalência: Corresponde à lista de termos de equivalências ou sinônimos;
  - iii. Formalização: Corresponde à formalização dos conceitos na ontologia.



**Figura 21** – Uma abordagem para evolução de uma ontologia de domínio.

Verificação sobre a formalização dos conceitos (classes em OWL) também é necessária. Pode ser de dois tipos: equivalente e não-equivalentes.

Os Cenários Base verificam a semântica dos conceitos que foram identificados a partir das duas entradas. Dois cenários são definidos:

- a. Os conceitos têm semântica equivalente. Ex.: igapó = área alagada;
- b. Os conceitos não têm semântica equivalente. Ex.: cachoeira ≠ corredeira.

Passo 3 corresponde à saída do ciclo de evolução da ontologia e compreende as recomendações para a mudança da OntoBio e suas semânticas.

O *E4* não inclui a implementação de mudanças na ontologia, identifica e descreve as representações destas mudanças.

### 6.3 Avaliação dos ECFs (*E5*)

O processo de avaliação dos ECFs é feito mediante a análise do uso das mesmas em base de dados não-convencional e/ou na estrutura formal da OntoBio.

A Figura 22 apresenta um exemplo de avaliação das recomendações propostas pelo *framework*. A avaliação pode se dar a partir do acompanhamento dos três passos ilustrados na Figura:

O Passo 1, ilustra o uso de correspondência de ontologias para estabelecer uma relação de conceitos equivalentes entre OntoBio e BCEs e a identificação de novos conceitos (*E3*) e pode ser ilustrado pela Figura 9;

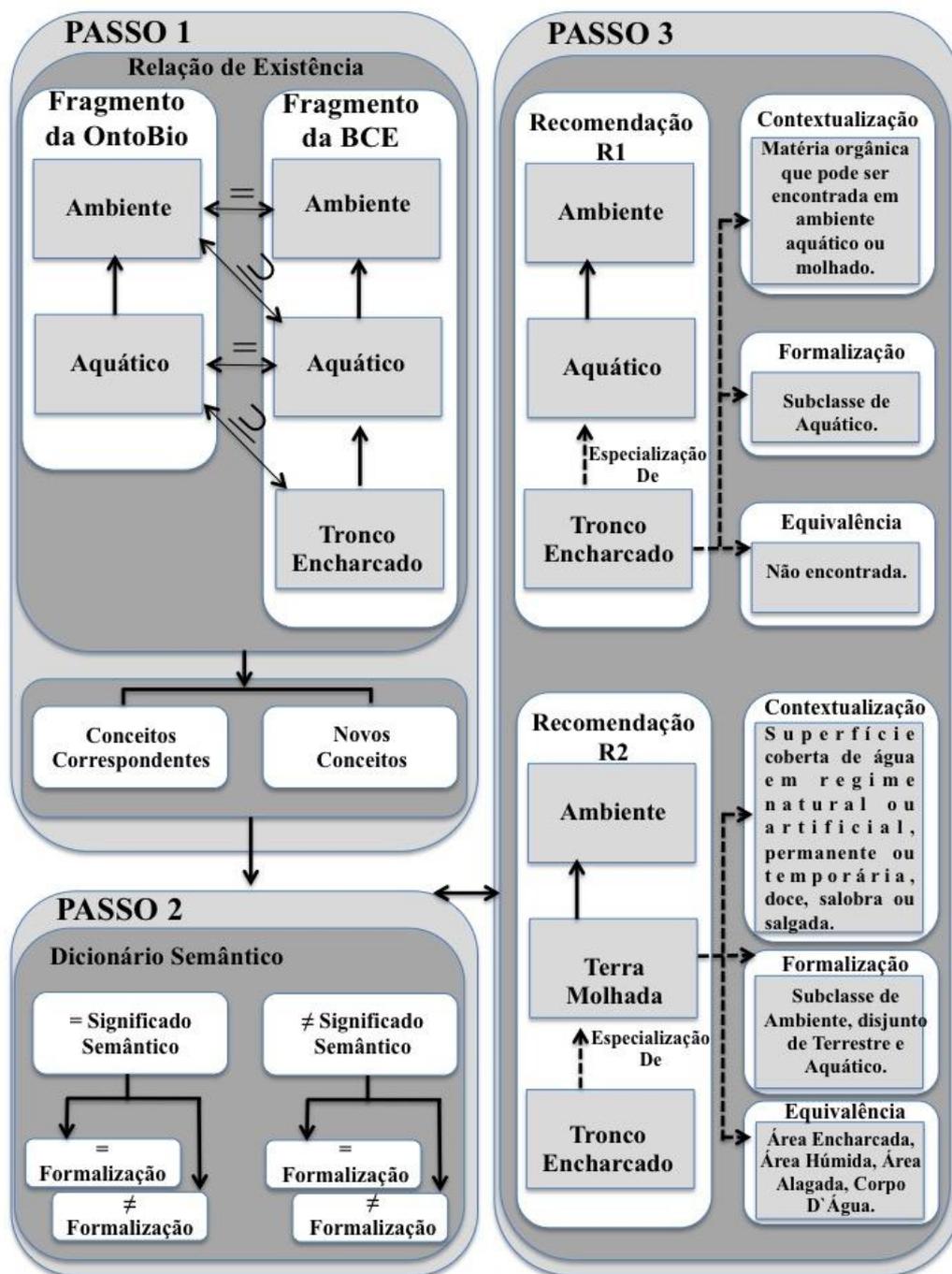


Figura 22 – Ilustração do fluxo para avaliação do *framework*.

No Passo 2, é verificada a semântica e formalização dos conceitos com correspondência sintática no dicionário semântico. Para isso, o repositório semântico é utilizado. As correspondências são agrupadas e analisadas juntamente com os Novos Conceitos;

O dicionário semântico adotado/implementado deve ser abrangente o suficiente para conter além dos termos da ontologia, termos que contemplem uma boa abrangência do

domínio.

O Passo 3, mostra as recomendações para a mudança (fragmento) e semântica correspondentes. Todos os conceitos apresentados têm contextualização, formalização e equivalência no repositório semântico. Tronco encharcado pode ser modelado como especialização de ambiente aquático (especialização de ambiente) e ambiente terra molhada (especialização de ambiente).

De posse desses ECFs, o engenheiro de ontologias e o especialista do domínio podem avaliar quais recomendações (podendo ser mais de uma para um único modelo mental) são mais adequadas e encontram-se no contexto do domínio adotado pela base de dados não-convencional e/ou a OntoBio, definindo a adoção ou não das recomendações geradas a partir do *framework* conceitual.

Ressalta-se que além das recomendações para evolução da ontologia (ECFs), o *framework* conceitual fornece o EPF do modelo mental em questão permitindo uma reconsulta ao conhecimento quando necessário.

## CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DO *FRAMEWORK* CONCEITUAL PARA INTEGRAÇÃO DE CONHECIMENTO TÁCITO

*Neste capítulo é apresentada uma análise do funcionamento do framework conceitual. Esta análise é realizada através de prova de conceito.*

São utilizadas provas de conceito<sup>47</sup> para análise do *framework* conceitual proposto. Basicamente, simula-se o protótipo convencional, entretanto a intenção é unicamente de demonstrar que uma determinada tese é factível, e não de construir uma versão inicial ou prévia de um projeto (CARSTEN, 1989).

A prova de conceito serve para validar um projeto antes que este seja executado na prática (PINHEIRO, 2010). A prova de conceito deve ilustrar que a partir do uso do *framework* conceitual para integração de conhecimento tácito científico, é possível ampliar as possibilidades de responder mais questões e de forma mais completa, sobre um domínio de conhecimento. A cada modelo mental aplicado ao arcabouço, o mesmo é formalizado; a ontologia de domínio em estudo é revisitada para verificar se a mesma abrange este conhecimento formalizado; é verificado se o modelo mental formalizado pode recomendar mudanças para evolução da ontologia; as recomendações são avaliadas pelo engenheiro de ontologia e o especialista do domínio para decidir a factibilidade de adoção destas recomendações; o EPF é mantido pois caso a ontologia, após a evolução, não possa responder a determinada pergunta, é possível que uma nova consulta ao conhecimento o faça. A ontologia passa a ser um instrumento de estruturação de conhecimento dinâmico: a cada modelo mental aplicado ao *framework*, a ontologia pode evoluir.

Uma vez que o resultado do *framework* é uma ontologia que se submeteu ao processo de evolução ou não, e, pontos de recorrência dentro do EPF são considerados através de *backtracking*, a definição dos cenários candidatos a uma prova de conceito para o *framework* conceitual é considerada a seguir:

- Sem uso do *framework*;
- Com uso do *framework*;
  - Ontologia não sofre mudanças. Ainda que não evolua, o *framework* demanda a revisão na estrutura conceitual da ontologia a partir do

---

<sup>47</sup> Prova de conceito, ou PoC (sigla do inglês, *Proof of Concept*) é um termo utilizado para denominar um modelo que possa provar o conceito (teórico) estabelecido por uma pesquisa (PINHEIRO, 2010).

modelo mental em uso;

- Ontologia sofre mudanças (evolui).

O número de provas de conceito não é pré-determinado e deve ser o suficiente para provar a factibilidade do que está sendo proposto.

## 7.1 Prova de Conceito

Para a prova de conceito, deve ser definida uma pergunta a ser respondida e um modelo mental a ser utilizado no *framework* conceitual (quando da aplicação do mesmo). Uma vez que os modelos mentais representam conhecimento tácito a ser agregado a instrumentos estruturantes de conhecimento e a OntoBio foi modelada e implementada com base em conhecimento explícito, é possível que todos os modelos mentais elicitados neste trabalho gerem recomendações de evolução para a ontologia. O esquema em uso da OntoBio é ilustrado no Apêndice B - Esquema Conceitual da OntoBio Completo.

### 7.1.1 Prova de Conceito A

Para esta prova de conceito, serão considerados:

**Pergunta:** *Qual é o ambiente provável para coleta de bodó?*

**Descrição do MM2:** *Ocorrência de bodó (cascudo) (família Loriicaridae, sub-família Hypoptopomatinae), em troncos velhos encharcados com reentrâncias.* (ETAPA 4 do EPF)

- Sem uso do *framework*

A OntoBio responderia a pergunta com o que está instanciado na mesma, uma vez que existe relação entre *Entidade Material* e *Ambiente*. Entretanto, o conhecimento diz respeito a um *Ambiente* ao qual está associado o *Objeto Coletado* (onde o objeto foi coletado) e não a um ambiente de provável coleta de bodó.

- Com uso do *framework*

A OntoBio responderia a pergunta.

A representação em LPO do MM2 descrito acima é apresentado a seguir (ETAPA 5 do EPF):

MM2 -  $\forall$  TroncoEncharcado  $\Rightarrow \exists$  Bodó | [Ambiente(TroncoEncharcado)  $\wedge$  EntidadeMaterial(Bodó)  $\wedge$  éCompostoPor(TroncoEncharcado, Bodó)]

Observa-se que nesta representação *com reentrâncias* é abstraído. Este conhecimento deve ser utilizado para anotação semântica com o propósito de caracterizar troncos

encharcados.

Os novos conceitos identificados a partir da composição da OntoBio e a formalização do MM2 são apresentados na Figura 23:

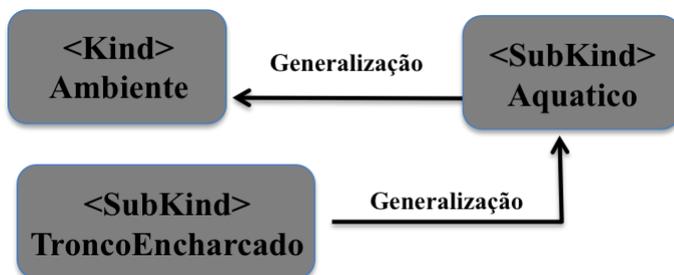


Figura 23 – Novo conceito identificado a partir da composição das ontologias com base no MM2.

O novo conceito identificado na Figura 23 a partir da BCE2 é *Tronco Encharcado* como especialização de *Ambiente Aquático*.

A recomendação para evolução da OntoBio a partir deste modelo mental é ilustrada na Figura 24.

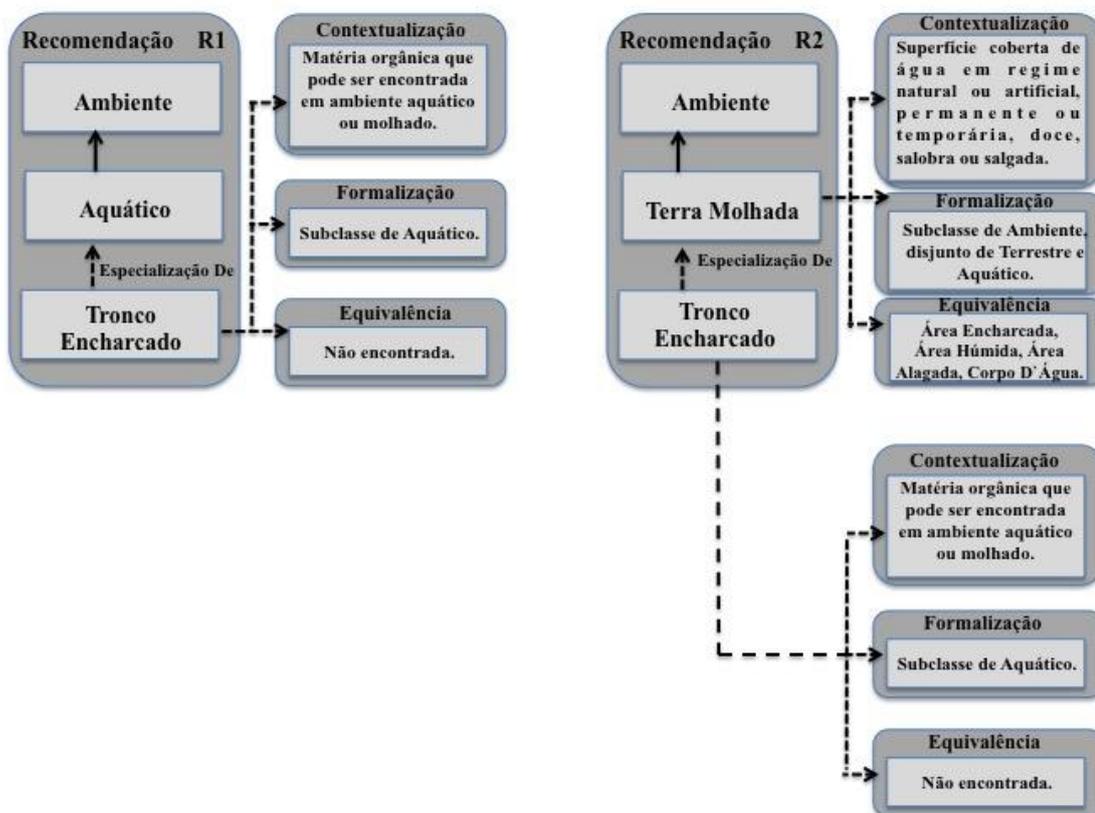


Figura 24 – Recomendações para evolução da OntoBio com base no MM2.

As linhas tracejadas indicam as recomendações para mudanças na ontologia que

poderiam ser implementadas. Dependendo da recomendação adotada, a evolução da ontologia incorporaria *Tronco Encharcado* como subclasse de *Ambiente Aquático* ou como subclasse de *Ambiente Terra Molhada*. Esta escolha é atribuição do engenheiro da ontologia e depende das visões do domínio que se deseja representar. Uma revisita ao EPF permitiria acesso à descrição do mapa conceitual que indica que os troncos encharcados devem ser velhos e com reentrâncias, ou ainda, a anotação semântica poderia prover este conhecimento. Além da ontologia estar apta a responder a pergunta, responderia melhor.

### 7.1.2 Prova de Conceito B

Para esta prova de conceito, serão considerados:

**Pergunta:** *Qual isca pode ser indicada para a coleta de jatuarana?*

**Descrição do MM3:** *Para pescar jatuarana (gênero Brycon), utilizar semente de jauari (gênero Astrocarium). (ETAPA 4 do EPF)*

- Sem uso do *framework*

A OntoBio responderia a pergunta com o que está instanciado na mesma, uma vez que existe relação entre *Objeto Coletado*, *Nome Popular* e *Aquisição*. Na *Aquisição* é possível estabelecer relações ente *Protocolo de Coleta* e *Método de Coleta*.

- Com uso do *framework*

A OntoBio responderia a pergunta.

A representação em LPO do MM3 é apresentado a seguir (ETAPA 5 do EPF):

MM3a -  $\forall \text{ Jauari} \Rightarrow \exists \text{ Jatuarana} \mid [\text{EntidadeMaterial}(\text{Jatuarana}) \wedge \text{MétodoDeColeta}(\text{Isca}(\text{Jauari})) \wedge \text{Possui}(\text{Isca}(\text{Jauari}), \text{Jatuarana})]$

Ou ainda,

MM3b -  $\forall \text{ Jauari} \Rightarrow \exists \text{ Jatuarana} \mid [\text{EntidadeMaterial}(\text{Jatuarana}) \wedge \text{EntidadeBiótica}(\text{Jauari}) \wedge \text{SeAlimentaDe}(\text{Jauari}, \text{Jatuarana})]$

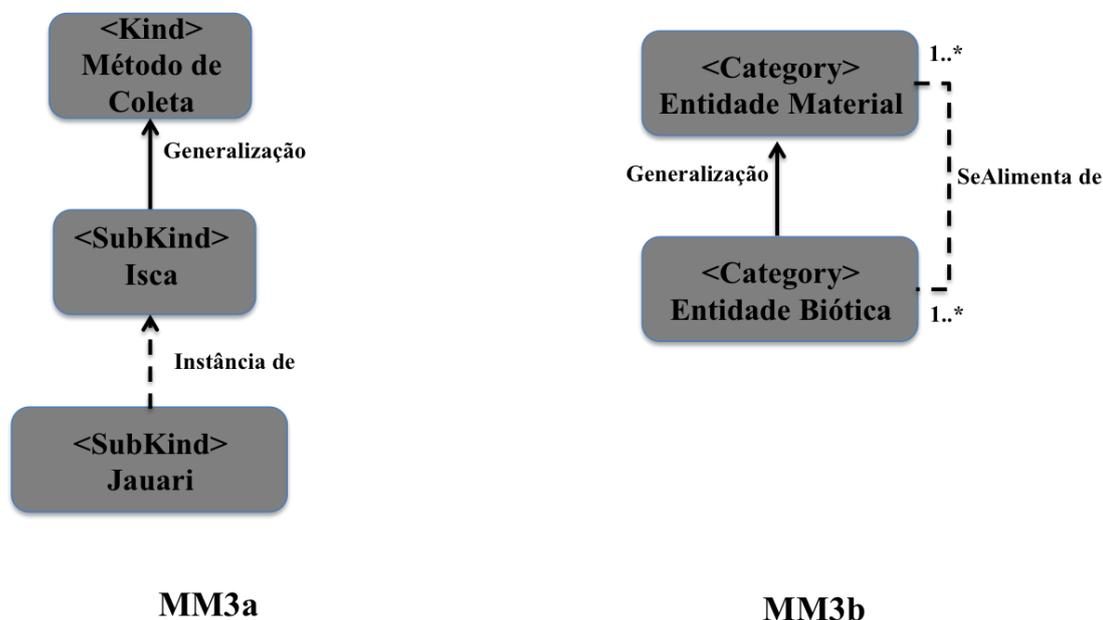
Neste nível de representação, é verificado que o conhecimento pode ser formalizado de duas maneiras: considerando jauari como isca (instância do método de coleta isca) (MM3a) e considerando jauari como alimento (MM3b).

Ainda, quando nos referimos aos organismos utilizando a validação do modelo mental realizada na etapa de elicitación e consideramos os gêneros (classificação taxonômica) indicados na descrição ao invés do nome popular, observa-se ganho de expressividade semântica. Ao gênero *Brycon* estão classificados organismos como jatuarana ou matrinxã,

piraputanga, pirapitinga, piracanjuba, piabanha entre outros (mais de 42 espécies); ao gênero *Astrocarium* estão classificadas as diferentes espécies da palmeira do tucumã (mais de 36 espécies).

Quando nos referimos aos organismos utilizando os diferentes *ranks* taxonômicos, o ganho de semântica torna-se evidente. A versão de testes que está sendo utilizada neste trabalho com uma nova versão da OntoBio já permite o uso dos diferentes níveis taxonômicos de uma classificação. A primeira versão da ontologia, entretanto, só considerava os três últimos níveis, família, gênero e espécie, o que limitava a expressividade semântica.

Os novos conceitos identificados a partir da composição da OntoBio e a formalização do MM3 são apresentados a seguir na Figura 25:



**Figura 25** – Novos conceitos identificados a partir da composição das ontologias com base no MM3.

A Figura 25 apresenta dois novos conceitos (dependendo da visão do analista): *Jauari* como instância de *Isca* e a relação formal *Se alimentaDe* entre *Entidade Biótica* e *Entidade Material*.

A recomendação para evolução da OntoBio a partir deste modelo mental é ilustrada na Figura 26 e está relacionada à conceitualização adotada (MM3a ou MM3b).

As linhas tracejadas indicam as mudanças que poderiam ser implementadas. Se formalizado segundo MM3a, *jauari* como instância de *isca* seria incorporada, se formalizado segundo MM3b, uma nova relação formal *SeAlimentaDe* seria estabelecida entre *Entidade Material* e *Entidade Biótica*.

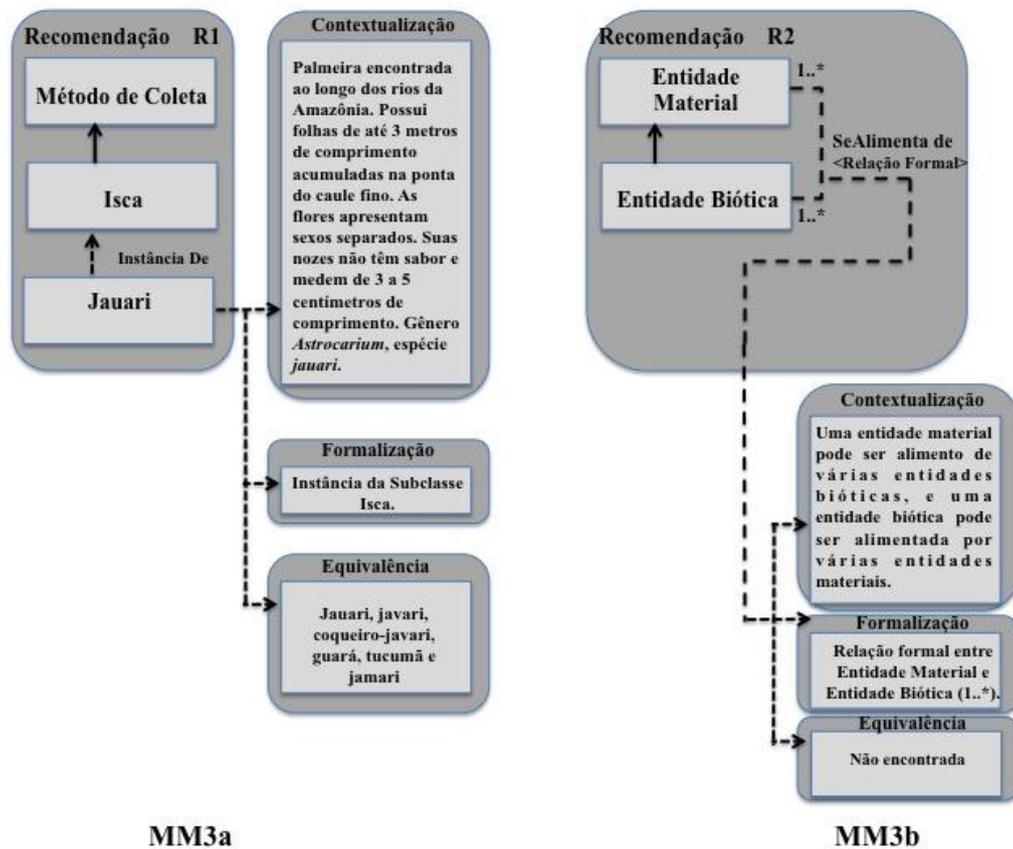


Figura 26 – Recomendações para evolução da OntoBio com base no MM3.

### 7.1.3 Prova de Conceito C

Para esta prova de conceito, serão considerados:

**Pergunta:** *Quais aspectos fitofisionômicos indicam ocorrência de malária em dada região?*

**Descrição do MM14:** *Aumento do foco do mosquito (família culicidae) com o florar do táxi branco (Sclerobium paniculatum). (ETAPA 4 do EPF)*

- Sem uso do *framework*

A OntoBio não responderia a esta pergunta. Na atual versão da OntoBio, não estão modeladas os órgãos das entidades bióticas ou seu tipo de reprodução (se a planta possuir flor, reprodução sexuada). Também não há nenhuma relação que indique que a ocorrência de dada *Entidade Biótica* implique na ocorrência de uma outra *Entidade Biótica*.

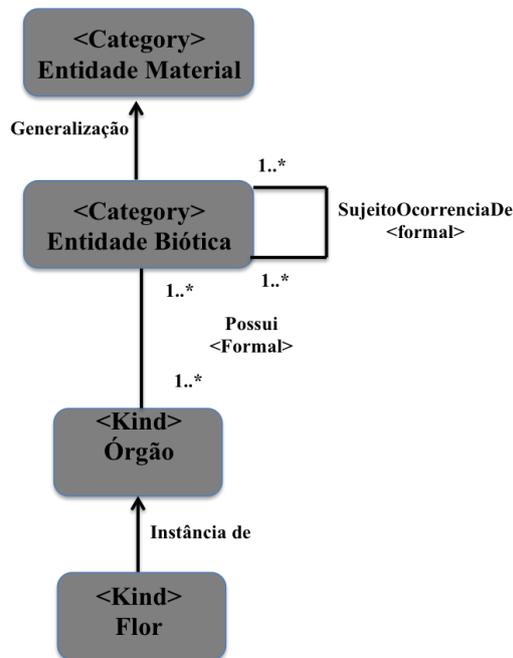
- Com uso do *framework*

A OntoBio não responderia a esta pergunta, mas teria condições de realizar mais inferências do que sem o uso do *framework*.

A representação em LPO do MM14 é apresentado a seguir (ETAPA 5 do EPF):

MM14 -  $\forall$  TáxiBranco  $\Rightarrow \exists$  Flor, Mosquito | [Possui(Flor, TáxiBranco)  $\wedge$  EntidadeMaterial(TáxiBranco)  $\wedge$  EntidadeMaterial(Mosquito)  $\wedge$  SujeitoOcorrenciaDe (Mosquito, TáxiBranco)]

Os novos conceitos identificados a partir da composição da OntoBio e a formalização do MM14 são apresentados na Figura 27. Esta figura apresenta 4 novos conceitos: definição da entidade *Órgão*, *Flor* como instância de *Órgão*, relação formal *Possui* entre *Entidade Biótica* e *Órgão* e a relação formal *SujeitoOcorrenciaDe* entre *Entidade Biótica* e *Entidade Biótica*.



**Figura 27** – Novos conceitos identificados a partir da composição das ontologias com base no MM14.

Um órgão é um conjunto de tecidos que evoluíram para executar determinada função vital. Alguns órgãos comuns aos vertebrados são o coração, o cérebro, o estômago, entre outros. Nas plantas superiores (representadas por dois grupos: gimnospermas e angiospermas), os órgãos principais são a raiz, o caule, as folhas, as flores e os frutos.

Equivocadamente, há quem considere a função da flor quase exclusivamente como ornamental e confundem o todo com a parte (planta com flor). A flor tem uma função muito importante - a reprodução (sexuada) – essencial à continuação da espécie e indispensável ao

ciclo de vida dos vegetais com reprodução sexuada.

A formação e posterior transformação da flor em fruto e a formação e a germinação da semente, até originar uma nova planta, são os passos centrais de um conjunto de fenômenos que se repete ciclicamente e constitui o Ciclo de Vida das plantas com flor.

Estes conceitos não estão modelados na atual versão da OntoBio.

A relação formal *SujeitoOcorrenciaDe* entre *Entidade Biótica* e *Entidade Biótica* é comum neste tipo de domínio. Esta relação formal existe para ilustrar as relações existentes entre entidades como por exemplo, *Leersia hexandra* (capim arrozinho) e *Anopheles darlingi* (vetor da malária), *Sclerobium paniculatum* (táxi branco) e *Anopheles darlingi* (vetor da malária), *Mauritia flexuosa* (buriti) e *Ara chloropterus* (arara vermelha), *Attalea phalerata* (bacuri) e arara-azul (*Anodorhynchus hyacinthinu*), *Acrocomia aculeata* (bocaiúva) e arara-azul (*Anodorhynchus hyacinthinu*). A *Entidade Biótica* pode desempenhar papel de habitat (ou ambiente propício ao seu crescimento) ou alimento para outra Entidade Biótica.

A recomendação para evolução da OntoBio a partir deste modelo mental é ilustrada na Figura 28.

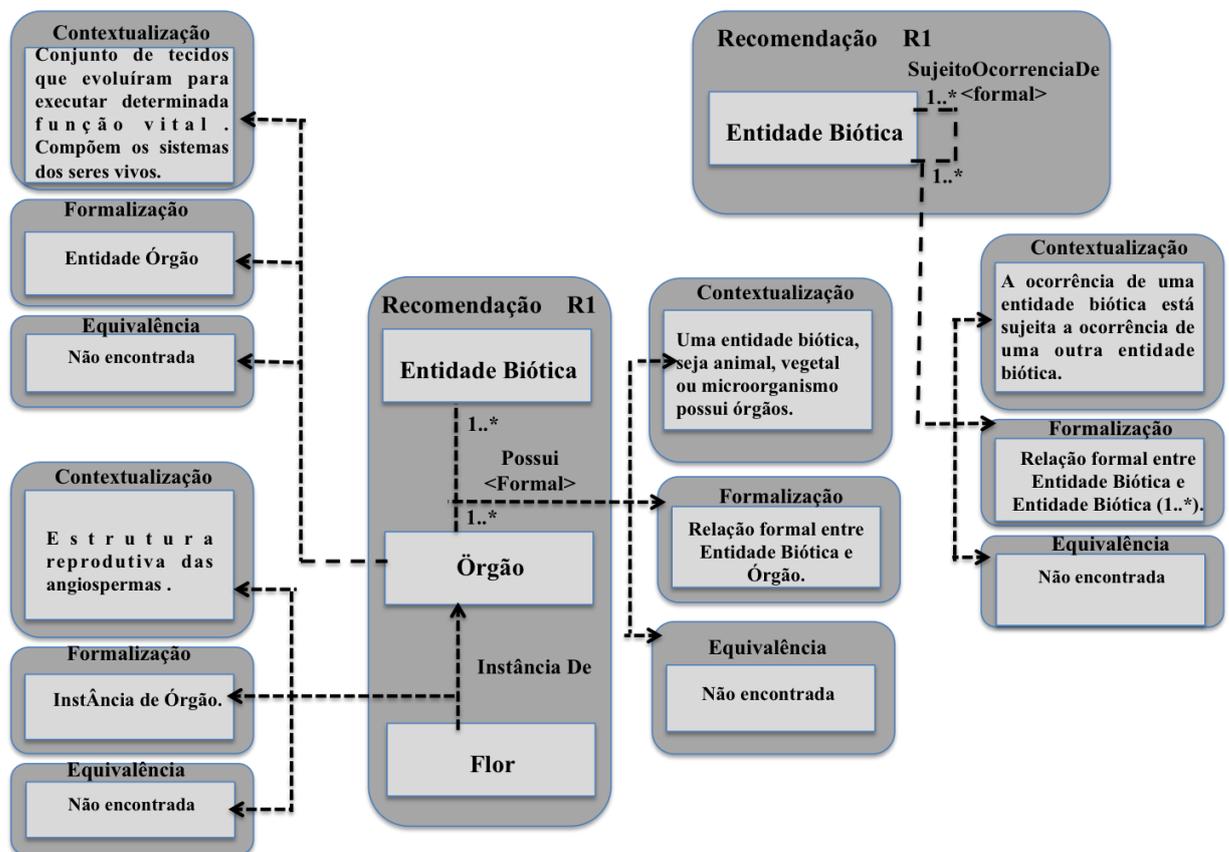


Figura 28 – Recomendações para evolução da OntoBio com base no MM14.

As linhas tracejadas indicam as mudanças que poderiam ser implementadas. Definir *Órgão* como novo conceito e instanciá-lo como *Flor*, não significa dizer que a *Entidade Biótica* relacionada formalmente a *Órgão* está em estado de florescência e sim que esta *Entidade Biótica* possui *Órgão Flor*, desta forma, não há como modelar “*florar do Táxi Branco*” adequadamente. O auto-relacionamento de *Entidade Biótica* com *Entidade Biótica* indica que a ocorrência de um organismo A, está sujeita a ocorrência de um organismo B e não que o foco do mosquito aumenta com o florar do táxi branco. A resposta para a pergunta desta prova de conceito se limitaria a informar que quando há táxi branco, há mosquito; mas não informaria que o aumento do foco do mosquito está associado ao estado de florescência do táxi branco. O uso do rank taxonômico família *culicidae* aumentaria a expressividade semântica do que viesse a ser respondido; todas as espécies pertencentes a esta família seriam alcançadas com esta afirmação. A referência a um organismo específico a partir do nome popular é dependente de quem faz o discurso e sua compreensão do mesmo.

O uso do arcabouço responderia a pergunta com maior possibilidade de inferência já que estabeleceria uma relação de existência entre duas entidades.

## 7.2 Algumas Considerações de Implementação

Todas as mudanças e novas implementações podem ser realizadas através do *OntoUML Lightweight Editor* (OLED)<sup>48</sup> atualmente denominado *Menthor*<sup>49</sup>.

O esquema ontológico em *OntoUML* deve ser projetado em uma ferramenta com suporte gráfico a UML, como *Sparx Enterprise System Architect*<sup>50</sup> (gera arquivos .eap). Uma vez que o esquema ontológico esteja concluído (arquivo .eap do *Enterprise Architect*), este deve ser exportado para um arquivo .xmi<sup>51</sup> e importado pelo OLED ou *Menthor* para gerar o código (arquivo .owl).

Algumas questões de implementação podem ser identificadas a partir da análise do *framework* e dizem respeito às limitações das linguagens para modelagem de ontologias no domínio de biodiversidade, que incluem:

- A *OntoUML* não suporta representação de relações  $\emptyset$  para N (0..1, 0..N). Limitação na representação das cardinalidades. Este fato justifica a adoção de uma representação taxonômica com apenas três níveis na versão original da

---

<sup>48</sup> <https://github.com/nemo-ufes/ontouml-lightweight-editor>

<sup>49</sup> <http://www.menthor.net/menthor-editor.html>

<sup>50</sup> <http://www.sparxsystems.com.au/products/ea/>

<sup>51</sup> <http://www.reviversoft.com/pt/file-extensions/xmi>

OntoBio – família, gênero, espécie. Toda entidade biótica está associada a pelo menos uma família, um gênero e uma espécie. Entretanto, isto limita a abrangência semântica da ontologia pois a classificação taxonômica completa é importante, e em uma classificação taxonômica, nem todos os níveis são instanciados (e.g., infra-ordem, sub-ordem, sub-família);

- A OntoUML não utiliza *high order*<sup>52</sup>, muito útil para a classificação taxonômica. Suporta *kind* que não modela adequadamente os aspectos deste domínio;
- OntoUML não suporta a modelagem de uma sub-coleção de uma sub-coleção. Ex.: estados são sub-coleções de países; cidades são sub-coleções de estados;
- Existem inconsistências no arquivo *.owl* gerado a partir do arquivo *.eap*. Ainda que o OLED ou Menthor permita a geração automática de código OWL do esquema ontológico projetado, é importante lembrar que uma linguagem no nível de análise para projetar ontologias, como OntoUML, tem mais poder de expressividade do que uma linguagem para ontologias no nível de implementação, como OWL. Assim, um código gerado automaticamente em OWL não reflete a realidade modelada, demandando ajustes ou códigos complementares para manter a integridade do que foi modelado. Por exemplo, OWL não suporta a implementação de *powertypes* que podem ser utilizados em OntoUML. Esta é uma questão recorrente no desenvolvimento de ontologias que ainda requer pesquisa e solução;

O Apêndice F apresenta as recomendações para mudança identificadas após aplicação do *framework*.

---

<sup>52</sup> O conceito de *high order universals* tem raciocínio matemático e lógico, e pode ser visto como um tipo em que suas instâncias são outros tipos, isto ocorre quando há diferentes níveis de classificação no mesmo modelo. *Higher order* é uma forma de representar todas as ordens que estão acima da primeira ordem (GUIZZARDI et al., 2015a).

## CAPÍTULO 8– CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Este capítulo provê uma descrição resumida do trabalho apresentado nesta tese. As principais contribuições do trabalho e algumas considerações, bem como direções para pesquisas futuras também são apresentadas.*

### 8.1 Relatos da Investigação

A contextualização do trabalho e a descrição do problema, objeto central do estudo, e as questões motivadoras da pesquisa foram apresentados no Capítulo 1. Foram também apresentados os objetivos e a organização da tese.

O Capítulo 2 apresentou uma revisão bibliográfica da literatura relacionada à esta pesquisa.

Uma proposta de ampliação da capacidade semântica de uma ontologia de domínio, através de um *framework* conceitual para integração de conhecimento científico tácito, orientando a gestão do conhecimento com diferentes níveis de representação, e permitindo manter conhecimento que pode responder questões que a ontologia não contempla atualmente foram apresentados no Capítulo 3.

O Capítulo 4 apresentou os principais aspectos relacionados ao processo de eliciação de conhecimento, bem como as técnicas utilizadas para a eliciação durante o desenvolvimento da E1 do *framework* conceitual proposto.

Os principais aspectos relacionados ao processo de formalização do conhecimento elicitado em E1, bem como as técnicas utilizadas para a formalização deste conhecimento durante o desenvolvimento da E2 do *framework* conceitual proposto foram documentados no Capítulo 5.

As principais questões relacionadas à aplicação do conhecimento, formalizado em E2, no *framework* conceitual foram apresentadas no Capítulo 6: composição das BCEs e OntoBio; mecanismo para evolução da ontologia em estudo (E4); avaliação das recomendações para mudança da ontologia e definição sobre a factibilidade do uso das mesmas (E5).

Uma análise do *framework* conceitual foi apresentada no Capítulo 7.

## 8.2 Resultados Alcançados

A hipótese desta tese, *Agregação de conhecimento tácito aos formalismos (instrumentos estruturantes) de conhecimento aumenta a expressividade semântica dos formalismos*, é verdadeira e pôde ser verificada no Capítulo 7.

No que diz respeito aos objetivos desta pesquisa, pode-se dizer que: o *framework* conceitual, objetivo geral desta pesquisa, é apresentado em [4, 5, 6, 7]<sup>53</sup>; a utilização de ontologias como ferramenta adequada para gestão e estruturação do conhecimento pode ser observada em [11]; questões críticas de gestão, aquisição e representação do conhecimento enfatizam a necessidade de diferentes pontos de vista sobre o domínio e são apresentadas em [9]; a ontologia estudo de caso (OntoBio) é detalhada em [8]; as principais questões relacionadas ao processo de elicitação de conhecimento, e a taxonomia de técnicas de elicitação de conhecimento utilizadas, são apresentadas em [3]; questões relacionadas a arquiteturas e mecanismos para gerir o conhecimento elicitado são apresentadas em [10] e [12]; uma descrição detalhada do EPF e a possibilidade de revisita ao conhecimento formalizado é apresentado em [1]; uma análise do *framework* conceitual, incluindo as composições das ontologias, os mecanismos para evolução das ontologias, avaliação das recomendações para evolução são apresentadas em [4]; uma análise das características e limitações da OntoBio, bem como as recomendações de mudança para evolução após aplicação do *framework* conceitual através da elicitação de modelos mentais de especialistas de ictiologia do INPA são apresentados em [2].

## 8.3 Considerações Sobre a Pesquisa Apresentada

Em biodiversidade, formalizar o conhecimento legado do especialista e seu uso nas bases de dados existentes, através de instrumentos estruturantes do conhecimento, resultam em avanços tecnológicos e possibilidades de pesquisa. As pesquisas realizadas neste trabalho induzem aos seguintes desdobramentos: a) geração de novos conhecimentos; b) orientações para tomada de decisão no apoio a ações estratégicas; c) mecanismos para a preservação de dados e da memória organizacional; d) dados mais ricos semanticamente para uso em análise e síntese, e e) mitigar os efeitos da entropia de informação.

---

<sup>53</sup> Verificar referências com índice numérico nas Publicações da Autora, Apêndice A.

A investigação aqui descrita buscou desenvolver um *framework* conceitual para integrar conhecimento tácito científico, a fim de incorporá-lo em instrumentos estruturantes do conhecimento, agregando expressividade semântica. Com o *framework* proposto é possível: elicitar, modelar e formalizar o conhecimento tácito; integrar conhecimento tácito científico acoplável a bases de conhecimento explícito; oferecer suporte a aquisição de conhecimento futura; apresentar recomendações para a evolução de uma ontologia de domínio.

Verificou-se que a integração de conhecimento científico tácito através do *framework* conceitual demanda uma sistematização do processo de aquisição do conhecimento (elicitação e formalização). O sucesso do uso do *framework* conceitual pode ser comprometido pela elicitação do conhecimento caso a mesma seja mal-conduzida. Um conjunto de boas práticas e observações que devem ser consideradas na elicitação são apresentadas no Capítulo 4. A EC desempenha um papel crítico no processo de aquisição de conhecimento. O trabalho mostrou que o analista deve elicitar o conhecimento dos especialistas e permitiu a identificação dos métodos mais adequados para EC tácito, uma vez que os especialistas do domínio podem não possuir as habilidades necessárias para realizar o processo de aquisição de conhecimento sem a participação do engenheiro de ontologias. Para cada instância de conhecimento elicitado, um cenário, um especialista com perícia, um conhecimento é considerado. Elicitar conhecimento tácito no domínio de biodiversidade conduz a questões singulares e requer a compreensão dos métodos de EC que melhor se adaptam a situação e problema particular.

Este trabalho destacou o importante papel que o analista desempenha na EC tácito. A definição do MME é dependente do analista, da sua compreensão do domínio e do seu entendimento do escopo do domínio a ser modelado.

Ainda, perda semântica de conhecimento pode ocorrer durante a definição do MME e sua representação como mapa conceitual. A adoção de bibliotecas digitais semânticas são recomendadas para gerenciar e armazenar o conhecimento elicitado, uma vez que oferece mecanismos para recuperação semântica de conhecimento.

Uma vez que o conhecimento em sua essência é complexo, alguns conhecimentos (tácitos) não podem ser formalizados. Há limitações de expressividade semântica nos passos que compõem o EPF devido aos vários níveis de granularidade do conhecimento, o que implica em perda de expressividade na transição entre os diferentes níveis de formalização do conhecimento. Faz-se necessário o desenvolvimento de um método para medir o limite de perda de semântica aceitável que não comprometa a qualidade da evolução da ontologia.

Durante a composição entre as BCEs e a OntoBio, os conflitos que ocorrem durante a correspondência entre ontologias tendem a ser minimizados uma vez que o *framework* conceitual utiliza a ontologia objeto de estudo para guiar a formalização do conhecimento.

O uso de um dicionário semântico do domínio é essencial para um bom funcionamento do *framework* conceitual (validação dos MMEs elicitados e evolução da ontologia) uma vez que auxilia nas questões de heterogeneidade semântica e terminologia.

O *framework* apresenta avanços no uso de métodos e aplicações da engenharia de ontologias e formalização do conhecimento tácito, no entanto, apresenta um alto nível de dependência dos especialistas de domínio e engenheiros de ontologias para a evolução da ontologia. Não é um processo que possa ser realizado de forma automática.

Uma análise do *framework* demonstra que há ganhos significativos de expressividade semântica ao se incorporar conhecimento tácito à OntoBio (Capítulo 7). Neste estudo de caso (domínio de biodiversidade e OntoBio), ressalta-se:

- Com relação à generalidade: Generaliza-se as etapas do modelo teórico encontrado. O *framework* conceitual proposto é aplicável a qualquer domínio;
- Com relação à validade: Foram testadas a coerência entre as proposições iniciais, desenvolvimento e resultados encontrados. Ainda, os achados desta pesquisa foram apresentados aos especialistas do domínio e da ontologia os quais atestaram a factibilidade dos resultados;
- Com relação à confiabilidade: O estudo mostrou que pode ser repetido obtendo-se resultados assemelhados, ou seja, agregar conhecimento tácito à ontologia a torna mais expressiva semanticamente (cada novo MME elicitado e formalizado poderá gerar recomendações de mudanças à ontologia ou permitir revisita futura ao conhecimento). As provas de conceito, a ontologia base (OntoBio) e os MMEs são fundamentais para os testes que indicam confiabilidade.

Além de agregar expressividade semântica a uma ontologia de domínio através da sua evolução, o *framework* viabiliza a revisita do conhecimento formalizado em diversos níveis de granularidade para uso posterior, permitindo manipulação de novo conhecimento (dependente da compreensão do MME pelo analista em dado momento).

A partir de seu uso é possível ampliar as possibilidades de responder mais e melhor questões sobre um domínio de conhecimento. A ontologia passa a ser uma ferramenta

dinâmica: a cada modelo mental aplicado ao *framework*, a ontologia tem a possibilidade de evoluir.

Uma dificuldade no desenvolvimento de ontologias concentra-se na definição do conjunto de conhecimentos que a mesma deve conter, adicionado ao objetivo de desenvolver ontologias genéricas e de domínios ricos e complexos que exigem investigação de um grande número de serviços, documentos e diferentes entendimentos das diversas comunidades de um mesmo domínio. Neste contexto, o *framework* desempenha um papel importante ao auxiliar o a evolução da ontologia e manter registro do conhecimento utilizado através das recomendações para evolução e EPF.

A necessidade do uso de linguagens ontologicamente bem fundamentadas para a modelagem conceitual de ontologias de domínio tem sido reconhecida na literatura. Isso geralmente é resultado de preocupações com interoperabilidade e a inadequação das linguagens de representação de ontologias leve na resolução destas questões. Apesar disso, essas linguagens não são ainda amplamente adotadas. Uma das principais razões é a necessidade de especialização de alto nível no tratamento dos conceitos filosóficos subjacentes. Por exemplo, sortais, perdurantes, etc. Estas linguagens continuam em desenvolvimento, como é o caso da OntoUML; seu uso tem definido as demandas para aperfeiçoamento.

Quando se utiliza engenharia de ontologias, onde há linguagens para ontologia de referência (linguagem de modelagem conceitual) no nível de análise e, linguagens para criação de ontologias leves (linguagem de implementação) no nível de implementação, observa-se: conceitualmente a completude de uma especialização é semanticamente relevante, o mesmo é indiferente quando tratamos da ontologia como implementação; várias estruturas/estereótipos encontrados nas linguagens no nível de análise não conseguem ser mapeados para uma linguagem no nível de implementação. Têm-se uma ontologia bem modelada conceitualmente, mas, no momento da implementação, não são encontrados recursos equivalentes para representar aquela situação específica. Não há preciosismo no nível de implementação. Esta se constitui atualmente na maior dificuldade quando se desenvolve ontologias utilizando-se engenharia de ontologias: implementar ontologias sem a utilização de linguagens para modelagem conceitual de ontologias na fase de análise, limita em muito a expressividade semântica da ontologia projetada. Muitas ontologias limitam-se a hierarquias de classes e subclasses, não havendo como realizar inferências ou manipular um vocabulário controlado ao se restringir a abrangência do recurso ontológico.

Outra dificuldade no desenvolvimento é a questão do reuso e operações com ontologias seja qual for o domínio. A questão considerada é exatamente a metodologia utilizada para o desenvolvimento de cada ontologia. Uma vez que não há uma padronização na metodologia para tal desenvolvimento, nos modelos conceituais considerados ou ainda nas linguagens de implementação, reuso e integração/correspondência podem se tornar tarefas inviáveis uma vez que existirão diferenças nos níveis de expressividade semântica de cada recurso utilizado e por conseqüência na qualidade e riqueza de cada ontologia desenvolvida. Nesta pesquisa, estas questões são mitigadas uma vez que as ontologias utilizadas (BCEs) são projetadas e implementadas com base na ontologia de referência (OntoBio).

Com relação às ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de ontologias, estas ainda constituem um desafio. É necessário linguagens capazes de evoluir no mesmo ritmo que as ontologias. Para domínios simples, as linguagens disponíveis atendem à necessidade. Para domínios complexos, tal como biodiversidade, as linguagens precisam evoluir para suportar a representação do conhecimento do domínio. Por exemplo, OWL não possui recursos capazes de representar algumas conceitualizações (e.g., sub-coleção de uma sub-coleção, *powertypes*) demandadas por domínios complexos.

A abordagem adotada evidencia uma evolução da atual forma de disseminação de dados, baseada em padrões de dados e metadados com limitado poder de expressão que não são interoperáveis para ontologias mais expressivas (interoperáveis).

## **8.4 Trabalhos Futuros**

O escopo e os resultados desta pesquisa direcionam a novas oportunidades para trabalhos futuros. Destacam-se:

- Aplicar o *framework* para o desenvolvimento de aplicações voltadas para biociência. Por exemplo, desenvolver uma aplicação para associações transversais dos MMEs produzindo novas recomendações para a evolução da OntoBio;
- Projetar um experimento para elicitare conhecimento científico de grupos de pesquisa estratégica no INPA, por exemplo aves, e disseminar os MMEs. Isto implica que qualquer novo MME pode ser mapeado para a OntoBio, refletindo em melhorias na ontologia;
- Implementar uma nova versão da OntoBio reduzindo as limitações atuais, bem como, implementar as recomendações de mudança fornecidas pela aplicação do *framework* conceitual.

## BIBLIOGRAFIA

- ALBERTAZZI, L. (1996). *Formal and Material Ontology*. In: POLI, R.; SIMONS, P. (Ed.). *Formal Ontology*. Dordrecht: Kluwer. p.199-232.
- ALBUQUERQUE, A.C.F. (2011). *Desenvolvimento de uma Ontologia de Domínio para Modelagem de Biodiversidade*. Dissertação de Mestrado, UFAM, 2011.
- ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2015). *OntoBio: A Biodiversity Domain Ontology for Amazonian*. Proceedings of 48<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences. Kauai, Hawaii, January 5<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup>. ISBN: 978-1-4799-7367-5
- ALBUQUERQUE, A.C.F.; CAMPOS DOS SANTOS, J.L.; DE MAGALHÃES NETTO, J.F. (2009a) *A Strategy for Biodiversity Knowledge Acquisition Based on Domain Ontology*. Proceedings of the 9<sup>th</sup>. International Conference on Intelligent Systems Design and Application (ISDA 2009). November 30<sup>th</sup> –December 2<sup>th</sup>, 2009. Pisa, Italy.
- ALBUQUERQUE, A.C.F.; CAMPOS DOS SANTOS, J.L.; DE MAGALHÃES NETTO, J.F. (2009b). *Modeling Complex Domain Ontology Based on the Unified Foundational Ontology*. Extended Proceedings of the 4<sup>th</sup>. Latin American Conference on Computer Human Interaction (CLIHC 2009) in conjunction with the 7<sup>th</sup>. Latin American Web Congress (LAWEB 2009)/Alberto L. Morán, comp. Ensenada, Baja Calif. : Universidad Autónoma de Baja California, 2009. November 9-11<sup>th</sup>, Mérida, Yucatán, México. ISBN: 978-607-7753-32-2.
- ARELLANO, M.A.M. (2010). *Bibliotecas Digitais e Serviços de Preservação*. Disponível em [http://pt.slideshare.net/gemireki/bibliotecas-digitais-e-servios-de-preservao?next\\_slideshow=1](http://pt.slideshare.net/gemireki/bibliotecas-digitais-e-servios-de-preservao?next_slideshow=1). Acesso em Novembro/2015.
- ASHBURNER, M.; BALL, C.A.; BLAKE, J.A.; BOTSTEIN, D.; BUTLER, H.; CHERRY, J.M.; DAVIS, A.P.; DOLINSKI, K.; DWIGHT, S.S.; EPPIG, J.T.; HARRIS, M.A.; HILL, D.P.; ISSEL-TARVER, L.; KASARSKIS, A.; LEWIS, S.; MATESE, J.C.; RICHARDSON, J.E.; RINGWALD, M.; RUBIN, G.M.; SHERLOCK, G. (2000). *Gene Ontology: Tool for the Unification of Biology*. The Gene Ontology Consortium. *Nature Genetics*, 25(1):25–29, May 2000.
- ASRAR-UL-HAQ, M.; ANWAR, S. (2016). *A Systematic Review of Knowledge Management and Knowledge Sharing: Trends, Issues, and Challenges*. *Cogent Business & Management*, 3: 1127744.
- ASSUNÇÃO, L. F. (2014). *Especial – O Planeta Terra por um Fio*. ANverde, Joinville, Santa Catarina, Brasil. Disponível em: <http://www1.an.com.br/anverde/especial1/index.html>. Acesso em: maio/2014.
- BAKER, P.G.; BRASS, A.; BECHHOFFER, S.; GOBLE, C.; PATON, N.; STEVENS, R. (1998). *TAMBIS–Transparent Access to Multiple Bioinformatics Information Sources*. In *Int Conference of Intelligent Systems for Molecular Biology*, volume 6, pages 25–34, Montreal, Canada, June 1998.

- BAUMEISTER, J.; REUTELSHOEFER, J.; PUPPE, F. (2011). Engineering Intelligent Systems on the Knowledge Formalization Continuum. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. Volume 21 Issue1, Number 1, pages 27-39. DOI: 10.2478/v10006-011-0002-5.
- BIOTA-FAPESP Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo (2009). *Science Plan and Strategies for the Next Decade*. Disponível em <http://www.biota.org.br/>. Acesso em Julho/2012.
- BLOMQUIST, E.; SANDKUHL, K. (2005). *Patterns in Ontology Engineering: Classification of Ontology Patterns*. In: Proc. of ICEIS2005, Miami Beach, Florida.
- BLUM, S.; WIECZOREK, J. (2005). *TDWG Standard Version 1.4*.
- BORST, W.N. (1997). *Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse*. PhD thesis, Univ. of Twente. CTIT Ph.D.-thesis series No. 97-14. ISBN 90-365-0988-2.
- BOTHA, A.; KOURIE, D.; SNYMAN, R. (2008). *Coping with Continuous Change in the Business Environment, Knowledge Management and Knowledge Management Technology*. Chandice Publishing Ltd. 2008.
- BRACHMAN, R.J. (1990). *The Future of Knowledge Representation*. In Proceedings of Eighth National Conference on Artificial Intelligence” , Vol 2, pp. 1082-1092, Boston-USA.
- BRACHMAN, R.J.; LEVESQUE, H.J. (2004). *Knowledge Representation and Reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, Elsevier, CA, USA. ISBN:1558609326.
- BRACHMAN, R.; SCHMOLZE, J. (1994). *An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation System*. *Cognitive Science*, n. 9.
- BREUKER, J., VAN DE VELDE, W. (1985). *CommonKADS Library for Expertise Modelling*. IOS Press.
- BROWN, J.S.; DUGUID, P. (1991). *Organizational Learning and Communities of Practice. Toward a Unified View of Working*. *Organization Science* vol.2, no.1, pp. 40-57. 1991.
- BROWN, J.S.; DUGUID, P. (1998). *Organizing Knowledge*. *California Management Review*. Vol. 40, no.3. 1998.
- BUKOWITZ, W.; WILLIAMS, R. (1999). *The Knowledge Management Fieldbook*. Financial Times/Prentice Hall.
- BUNEMAN, P. et al. (2000). *Data on the Web: From Relations to Semistructured Data and XML*. Morgan Kaufmann Publishers, California.
- BURTON, A.M.; SHADBOLT, N.R.; HEDGECOCK, A.P.; RUGG, G. (1987). *A Formal Evaluation of Knowledge Elicitation Techniques for Expert Systems: Domain 1*. In D.S. Moralee (Ed.), *Research and Development in Expert Systems IV*. Cambridge University

Press, New York, New York, USA.

- BURTON, A.M.; SHADBOLT, N.R.; RUGG, G., HEDGECOCK, A.P. (1990). *The Efficacy of Knowledge Elicitation Techniques: A Comparison Across Domains and Levels of Expertise*. Knowledge Acquisition, 2(2), 167-178.
- CAMPOS DOS SANTOS, J.L. (2003). *A Biodiversity Information System in an Open Data/Metadatabase Architecture*. Ph. D. Thesis. International Institute For Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands. ISBN 90-6164-214-0.
- CANHOS, V. (2003). *Informática para Biodiversidade: Padrões, Protocolos e Ferramentas*. Ciência e Cultura, Apr./June 2003. Vol. 55, No. 2, p.45-47. ISSN 0009-6725.
- CAREY, S. (1988). *Reorganization of Knowledge in the Course of Acquisition*. In: Sidney Strauss (Ed.) *Ontogeny, Phylogeny and Historical Development*. Norwood, N.J.: Ablex Publishing Corporation.
- CAREY, S.; SPELKE, E. (1994). *Domain-Specific Knowledge and Conceptual Change*. In: L. A. Hirschfeld and S. A. Gelman (eds) *Mapping the Mind*, Cambridge, MA: Cambridge University Press. 169-200.
- CARRICO, M.A.; GIRARD, J.E.; JONES, J.P. (1989). *Building Knowledge Systems*. Developing and Managing Rule-Based Applications.
- CARSTEN, B. (1989). *Carsten's Corner*. In *Power Conversion and Intelligent Motion*.
- CASTANO, S.; FERRARA, A.; MONTANELLI, S.; QUIX, C. (2003). *H-match: an Algorithm for Dynamically Matching Ontologies in Peer-Based Systems*. In SWDB, pages 231–250. Citeseer.
- CASTANO, S.; FERRARA, A.; HESS, G.N. (2006). *Discovery-Driven Ontology Evolution*. In SWAP.
- CERRI, S. A., CRUBÉZY, M., DUGÉNIE, P., JONQUET, C., LEMOISSON, P. (2006). *The Grid Shared Desktop for CSCL*. In: *Proceedings of eChallenges 2006 Conference*, Barcelona, Espanha.
- CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J.; BENJAMINS, V. (1999). *What Are Ontologies, and Why Do We Need Them?*. IEEE Intelligent Systems, Jan/Feb 1999, 14(1), pp. 20-26; *Ontology of Task and Methods*, May/June, 1999.
- CHRISTOPHERSON, R.W. (1996). *Geosystems: An Introduction to Physical Geography*. Prentice Hall Inc..
- CHORAFAS, D.N. (1990). *Knowledge Engineering*. Van Nostrand Reinhold Co.
- COLLINS, H.M. (2001). *Tacit Knowledge, Trust and the Q of Sapphire*. Social Studies of Science, n. 31, p.71-85.
- COOK, S.D.; BROWN, J.S. (1999). *Bridging Epistemologies: the Generative Dance Between Organizational Knowledge and Organizational Knowing*. Organization Science,

vol. 10, no. 4.

- COOKE, N.J. (1994). *Varieties of Knowledge Elicitation Techniques*. In B.R. Gaines (Ed.), *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 41, Issue 6, December 1994. P. 801-849. Academic Press, Inc. Duluth, MN, USA. ISSN: 1071-5819.
- COOKE, N.J. (1999). *Knowledge Elicitation*. In F.T. Durso; R.S. Nickerson; R.W. Schvaneveldt; S.T. Dumais; D.S. Lindsay e M.T.H. CHI (Eds.), *Handbook of Applied Cognition* (pp. 479-510). John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, England, UK.
- CORDINGLEY, E.S. (1989). *Knowledge Elicitation Techniques for Knowledge-Based Systems*. In D. DIAPER (Ed.), *Knowledge Elicitation: Principles, Techniques, and Applications*, pp. 89-175. New York: John Wiley & Sons.
- COSTA, W.S.; SILVA, S.C.M. (2007). *Aquisição de Conhecimento: O Grande Desafio na Concepção de Sistemas Especialistas*. HOLOS-ISSN 1807-1600, v. 2, p. 37-46.
- CRIA *Centro de Referência em Informação Ambiental* (2012). Disponível em <http://www.cria.org.br/>. Acesso em Julho/2012.
- CRUZ, I.F.; ANTONELLI, F.P.; STROE, C. (2009). *Agreementmaker: Efficient Matching for Large Real-World Schemas and Ontologies*. *Proceedings of VLDB Endowment*, vol.2, no. 2, pp.1586-1589. DOI: 10.14778/1687553.1687598.
- CULLEN, J.E.; BRYMAN, A. (1988). *The Knowledge Acquisition Bottleneck: a Time for Reassessment?*. *Expert Systems*, 5, 216-125.
- CUNHA, M. B. (2008). *Das Bibliotecas Convencionais às Digitais: Diferenças e convergências. Perspectivas em Ciência da Informação*. V. 13, p.2-17, 2008.
- D'AMBROSIO, U. (2011). *Transdisciplinaridade*. Editora Palas Athena. ISBN-10: 8572420150. ISBN-13: 978-8572420150.
- DAVIS, A.; DIESTE, O.; HICKEY, A.; JURISTO, N.; MORENO, A.M. (2006). *Effectiveness of Requirements Elicitation Techniques: Empirical Results Derived from a Systematic Review*. In 14th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE'06), Minneapolis/St. Paul, Minnesota, USA, pp. 179-188.
- DIAPER, D. (1989). *Knowledge Elicitation: Principle, Techniques and Applications*. Springer-Verlag New York, Inc..
- DIESTE, O.; HICKEY, A.; JURISTO, N. (2010). *Systematic Review and Aggregation of Empirical Studies on Elicitation Techniques*. *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 99.
- DOAN, A.; MADHAVAN, J.; DOMINGOS, P.; HALEVY, A. (2004). *Ontology Matching: A Machine Learning Approach*. In S. Staab et al. (eds.), *Handbook on Ontologies*. Springer-Verlag Berlin Herldelberg. PP. 385-403. ISBN: 978-3-662-11957-0 (Print) 978-3-540-24750-0 (Online). DOI: 10.1007/978-3-540-24750-0
- DOWNEY, L.L.; PENNINGTON, D. (2009) *Bridging the Gap Between Technology and Science with Examples from Ecology and Biodiversity*. *International Journal of*

Biodiversity Informatics, 2009. Disponível em <https://journals.ku.edu/index.php/jbi/article/view/1574/3469>. Acesso em julho/2014.

- DREYFUS, H. L.; DREYFUS, S. E. (1986). *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in an Era of the Computer*. Free Press, New York, New York, USA.
- EHRIG, M; STAAB, S. (2004). *QOM Quick Ontology Mapping*. In Proceedings of the Third International Semantic Web Conference, Springer, p. 356361.
- EMBLEY, D.; CAMPBELL, D.; JIANG, Y.; NG, Y.; SMITH, R. (1998). *A Conceptual-Modeling Approach to Extracting Data from the Web*. In T. W. Li, S. Ram, e M. Lee, editors, 17<sup>th</sup> International Conference on Conceptual Modeling - ER'98, Spring Verlag, pages 78-91, Berlin.
- EMBRAPA (2006). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. – Rio de Janeiro, RJ : EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.: il. ISBN 85-85864-19-2.
- ERICSSON, K.A.; SIMON, H.A. (1984). *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*. Cambridge, MA: Bradford Books/MIT Press.
- ESTADOS UNIDOS (1999). Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. *Soil Taxonomy: a Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2.ed. Washington, 1999. 169p. (USDA. Agriculture Handbook, 436).
- EUZENAT, J.; SHVAIKO, P. (2007). *Ontology Matching*. Springer.
- EUZENAT, J.; MOCAN, A.; SCHARFFE, F. (2008). *Ontology Alignments: an Ontology Management Perspective*. Martin Hepp, Pieter De Leenheer, Aldo De Moor, York Sure (eds). *Ontology Management: Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications*, Springer, PP.177-206, 978-0-387-69899-1.
- EUZENAT, J.; SHVAIKO, P. (2013). *Ontology Matching: State of the Art and Future Changes*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Volume 25 Issue 1, Pages 158-176. ISSN:1041-4347. DOI: 10.1109/TKDE.2011.253
- EVERETT, J.O.; BOBROW, D.G.; STOLLE, R.; CROUCH, R.; de PAIVA, V.; CONDORAVDI, C.; van den BERG, M.; POLANYI, L. (2002). *Making Ontologies Work for Resolving Redundancies Across Documents*. Communications of the ACM 45(2):55-60.
- FALBO, R. (1998). *Integração de Conhecimento em um Ambiente de Desenvolvimento de Software*. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE/UFRJ, Dezembro, 1998.
- FALBO, R. et al. (1998). *A Systematic Approach for Building Ontologies*. In Artificial Intelligence - IBERAMIA'98 (Proceedings of the 6th Ibero-American Conference on AI, 1998), Coelho, H. (Ed.): LNCS 1484 (Lecture Notes in Artificial Intelligence), pp. 349-360, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Lisbon, Portugal.

- FALBO, R. (2004). *Experiences in Using a Method for Building Domain Ontologies*. In Proceedings of the Sixteenth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, SEKE'2004, pp. 474-477, International Workshop on Ontology In Action, OIA'2004, Banff, Alberta, Canada.
- FARIA, D.; PESQUITA, C.; SANTOS, E.; PALMONARI, M.; CRUZ, I. F.; COUTO, F. M. (2013). *The AgreementMakerLight Ontology Matching System*. In On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Conferences, pages 527–541. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 9783642410307 – 9783642410291. DOI: 10.1007/978-3-642-41030-7.
- FARRINGTON-DARBY, T.; WILSON, J. R. (2006). *The Nature of Expertise: A Review*. Applied Ergonomics, 37(1), 17-32.
- FEIGENBAUM, E.A.; MCCORDUCK, P. (1984). *The Fifth Generation: Artificial Intelligence and Japan's Computer Challenge to the World*. New York: New American Library.
- FEIGENBAUM, L.; HERMAN, I.; HONGSERMEIER, R.; NEUMANN, E.; STEPHENS, S. (2007). *The Semantic Web in Action*. Scientific American, vol. 297, pp. 90-97.
- FERREIRA, S.M.S.P.; SOUTO, P.C.N. (2006). *A Interface do Usuário e as Bibliotecas Digitais*. Em C.H. Marcondes et al. (Orgs.). Bibliotecas digitais: saberes e práticas. Salvador: UFBA. P.185-204.
- FLOURIS, G.; PLEXOUSAKIS, D.; ANTONIOU, G. (2006). *Evolving Ontology Evolution*. In SOFSEM 2006: Theory and Practice of Computer Science. Springer.
- FLOURIS, G.; MANAKANATAS, D.; KONDYLAKIS, H.; PLEXOUSAKIS, D.; ANTONIOU, G. (2008). *Ontology Change: Classification and Survey*. Knowledge Engineering Review, Vol. 23, 2008, pp. 117-152.
- FREITAS, W.R.S.; JABBOUR, C.J.C. (2011). *Utilizando Estudos de Caso(s) como Estratégia de Pesquisa Qualitativa: Boas Práticas e Sugestões*. Estudo e Debate, Lajeado, v.18, n. 2, pp. 07-22.
- GAINES, B.R. (2013). *Knowledge Acquisition: Past, Present and Future*. International Journal of Human-Computer Studies, 71(2), 135-156.
- GAVRILOVA, T. (1993). *Choice of Knowledge Elicitation Technique: the Psychological Aspect*. International Journal of Information Theory and Applications, Vol. 1 No. 8, pp. 20-6.
- GAVRILOVA, T.; LAIRD, D. (2005). *Practical Design of Business Enterprise Ontologies*. In M. Bramer e V. Terzyan (Eds), Industrial Applications of Semantic Web, Springer, Heidelberg, pp. 61-81.
- GAVRILOVA, T.; ANDREEVA, T. (2012). *Knowledge Elicitation Techniques in a Knowledge Management Context*. Journal of Knowledge Management, Vol. 16 Iss 4 pp. 523 - 537

- GBIF (2014). *Global Biodiversity Information Facility*. Disponível em: <http://www.gbif.org/>. Acesso em: Novembro, 2014.
- GENESERETH, M. R.; NILSSON, L. (1987). *Logical foundation of AI*. San Francisco: Morgan Kaufman. 405p.
- GIL, Y. (2011). *Interactive Knowledge Capture in the New Millennium: How the Semantic Web Changed Everything*. *The Knowledge Engineering Review*, 26(1), 45-51.
- GIUNCHIGLIA, F.; SHVAIKO, P.; YATSKEVICH, M. (2004). *Smatch: an Algorithm and an Implementation of Semantic Matching*. In ESWS, volume 3053, pages 61–75. Springer.
- GONÇALVES, B.; ZAMBORLINI, V.; GUIZZARDI, G. (2009). *An Ontological Analysis of the Electrocardiogram*. RECIIS. *Electronic Journal of Communication Information and Innovation in Health (English edition. Online)*, v. 3, p. 45-59.
- GRUBER, T. (1992). *Ontolingua: A Mechanism to Support Portable Ontologies, version 3.0*. Technical Report, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, California, 1992.
- GRUBER, T. (1993). *A Translation Approach to Portable Ontologies*. *Knowledge Acquisition*, v.5, n.2, p. 199-200.
- GRUBER, T. (2008). *Collective Knowledge Systems: Where the Social Web Meets the Semantic Web*. *Web Semantics* 6(1): 4–13.
- GUARINO, N. (1997). *Understanding, Building and Using Ontologies: A Commentary to Using Explicit Ontologies in KBS Development*, by van Heijst, Schreiber, and Wielinga. *International Journal of Human and Computer Studies*, v.46, n.2/3, p. 293-310.
- GUARINO, N. (1998). *Formal Ontology and Information Systems*. In: N. Guarino, (Ed.) *Formal Ontology in Information Systems*. pp. 3-15, IOS Press, Amsterdam, Netherlands.
- GUARINO, N.; GIARETTA, P. (1995). *Ontologies and KBs, Towards a Terminological Clarification*. In: MARS, N. (Ed.). *Towards a Very Large Knowledge Bases; Knowledge Building and Knowledge Sharing*. [S.l.]: IOS Press. p. 25-32.
- GUIZZARDI, G.; WAGNER, G.; GUARINO, N.; VAN SINDEREN, M. (2004). *An Ontologically Well-Founded Profile for UML Conceptual Models*. 16th Intl. Conf. on Advances in Information Systems Engineering (CAiSE), Latvia. LNCS 3084, ISBN 3-540-22151-4.
- GUIZZARDI, G. (2005). *Ontological Foundations for Structural Conceptual Models*. PhD Thesis (CUM LAUDE), University of Twente, The Netherlands. Published as the same name book in Telematica Institut Fundamental Research. Series No. 15, ISBN 90-75176-81-3 ISSN 1388-1795; No. 015; CTIT PhD-thesis, ISSN 1381-3617; No. 05-74. Holanda.
- GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. (2005). *Some Applications of a Unified Foundational Ontology in Business Modeling*. *Ontologies and Business Systems Analysis*, Michael Rosemann and Peter Green (Eds.). IDEA Publisher.

- GUIZZARDI, G. (2007). *On Ontology, Ontologies, Conceptualizations, Modeling Languages, and (Meta)Models*. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Databases and Information Systems IV, Olegas Vasilecas, Johan Edler, Albertas Caplinskas (Editors). IOS Press, Amsterdam. ISBN 978-1-58603-640-8.
- GUIZZARDI, G. (2008). *Ontology-Driven Conceptual Modeling with Application*. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI'08): Desafios para a Pesquisa em Sistemas de Informação no Brasil. Rio de Janeiro.
- GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. (2008). *What's in a Relationship: An Ontological Analysis*. In: 27th International Conference on Conceptual Modeling (ER 2008), 2008, Barcelona. Lecture Notes in Computer Science (LNCS). Berlim: Springer-Verlag, 2008. v. 5231. p. 83-97.
- GUIZZARDI, G. (2009). *The Problem of Transitivity of Part-Whole Relations in Conceptual Modeling Revisited*. In: 21<sup>st</sup> International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAISE 2009), 2009, Amsterdam. Lecture Notes in Computer Science (LNCS). Berlim: Springer-Verlag. V. 5565. p. 94-109.
- GUIZZARDI, G.; ALMEIDA, J.P.; GUARINO, N.; CARVALHO, V.A. (2015a). *Towards an Ontological Analysis of Powertypes*. International Workshop on Formal Ontologies for Artificial Intelligence (FOFAI 2015), 24th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2015), Buenos Aires.
- GUIZZARDI, G., WAGNER, G., ALMEIDA, J.P.A., GUIZZARDI, R.S.S., (2015b). *Towards Ontological Foundation for Conceptual Modeling: The Unified Foundational Ontology (UFO) Story*. Applied Ontology, Vol. 10, issues 3-4, IOS Press.
- GUMMESSON, E. (2007). *Case Study Research and Network Theory: Birds of a Feather*. Qualitative Research in Organizations and Management. An International Journal, v. 2, n. 3, p. 226-248.
- HAMMER, J.; McHUGH, J.; GARCIA-MOLINA, H. (1995). *Semistructured Data: The TSIMMIS Experience*. Department of Computer Science, Stanford University.
- HAROLD, E. (2004). *XML 1.1 Bible*. John Wiley & Sons Inc, February. ISBN: 9780764549861.
- HARTLEY, J. F. (1994). *Case Studies in Organizational Research*. In: CASSELL, Catherine & SYMON, Gillian (Ed.). *Qualitative Methods in Organizational Research: a Practical Guide*. London: Sage, p. 208-229.
- HATAMI, A.; GALLIERS, R.D.; HUANG, J. (2003). *Exploring the Impacts of Knowledge (Re)Use and Organizational Memory on the Effectiveness of Strategic Decisions: a Longitudinal Case Study*. Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2003. p.11 pp.
- HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D.A.; LENAT, D.B. (1983). *Building Expert Systems*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, USA.
- HAYES-ROTH, F.; JACOBSTEIN, N. (1994). *The State of Knowledge-Based Systems*.

- Communications of the ACM, 37, 27-59.
- HOFFMAN, R.R. (1987). *The Problem of Extracting the Knowledge of Experts from the Perspective of Experimental Psychology*. AI Magazine, 8(2), 53-66.
- HOFFMAN, R.R. (1989). *A Survey of Methods for Eliciting the Knowledge of Experts*. ACM SIGART Bulletin, 108, 19-27.
- HOFFMAN, R.R.; SHADBOLT, N.R.; BURTON, A.M.; KLEIN, G. (1995). *Eliciting Knowledge from Experts: A Methodological Analysis*. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 62(2), 129-158.
- HOFFMAN, R.R. (1998). *How can Expertise be Defined? Implications of Research from Cognitive Psychology*. In R. Williams, W. Faulkner; J. Fleck (Eds.), *Exploring Expertise*. Macmillan, New York, New York, USA.
- HOFFMAN, R. R.; LINTERN, G. (2006). *Eliciting and Representing the Knowledge of Experts*. In K. A. Ericsson; N. Charness; P. Feltovich; R. R. Hoffman (Eds.), *Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance*. Cambridge University Press, New York, New York, USA.
- HOLSAPPLE, C.W. (2004). *Knowledge and its Attributes*. In C. Holsapple (Ed.), *Handbook on Knowledge Management 1: Knowledge Matters*, Springer, Berlin and New York, NY, pp. 165-88.
- IBAMA (2007). *Instrução Normativa no 154*, de 01 de março de 2007. Technical report, Ministério do Meio Ambiente.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE (2014). *Dictionary.com, "data," in Collins English Dictionary - Complete & Unabridged 10<sup>th</sup> Edition*. Source location: HarperCollins Publishers. Disponível em: <http://dictionary.reference.com/>. Acesso em: Novembro, 2014.
- ISRAEL, D.J. (1983). *The Role of Logic in Knowledge Representation*. IEEE Computer, pp.37-41.
- JOHNSON, L.; JOHNSON, N. (1987). *Knowledge Elicitation Involving Teachback Interviewing*. In A. Kidd (Ed.), *Knowledge Elicitation for Expert Systems: A Practical Handbook*. Plenum Press, New York, New York, USA.
- KHATTAK, A.M.; LATIF, K.; LEE, S.Y.; LEE, Y.K.; RASHEED, T. (2009). *Building an Integrated Framework for Ontology Evolution Management*. In 12<sup>th</sup> International Conference on International Business Information Management Association, Malaysia.
- KHATTAK, A.M.; BATOOL, R.; PERVEZ, Z.; KHAN, A.M.; LEE, S.-Y. (2013). *Ontology Evolution and Challenges*. J. Inf. Sci. Eng.
- KENDAL, S.; CREEN, M. (2006). *An Introduction to Knowledge Engineering*. Springer, London.
- KENNEDY, H. (2014). *What's the Meaning of the Brazilian Word "Igarapé"?*. Quora. Disponível em <https://www.quora.com/Whats-the-meaning-of-the-Brazilian-word->

igarap%C3%A9. Acesso em: fevereiro/2015.

- KLEIN, M.; NOY, N.F. (2003). *A Component-Based Framework for Ontology Evolution*. In Proceedings of the IJCAI. Citeseer.
- KRUK, S.R.; MCDANIEL, B. (2009). *Semantic Digital Libraries*. Springer Publishing Company. ISBN: 3540854339.
- LAFRANCE, M. (1987). *The Knowledge Acquisition Grid: A Method for Training Knowledge Engineers*. International Journal of Man-Machine Studies, 26(2), 245-255.
- LAPP, H.; MORRIS, R.A.; CATAPANO, T.; HOBERN, D.; MORRISON, N. (2011). *Organizing our Knowledge of Biodiversity*. Bulletin of the American Society for Information Science and Technology, 37:38–42. ISSN 00954403. Doi:10.1002/bult.2011.1720370411.
- LE COADIC, Y.-F. (2004). *Princípios Científicos que Direcionam a Ciência e a Tecnologia da Informação Digital*. Transinformação, Campinas, v. 16, n. 3, p. 205-213, set./ dez. 2004.
- LEHNER, F.; MAIER, R.K. (2000). *How Can Organizational Memory Theories Contribute to Organizational Memory Systems?* Information Systems Frontiers, v. 2, n. 3-4, p. 277-298, 2000. ISSN 1387-3326.
- LEITE, F.C.L. (2006). *Gestão do Conhecimento Científico no Contexto Acadêmico: Proposta de um Modelo Conceitual*. 240 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação)– Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <<http://eprints.rclis.org/archive/00006259/>>. Acesso em: junho/2014.
- LEITE, F.C.L.; COSTA, S.M.S. (2007). *Gestão do Conhecimento Científico: Proposta de um Modelo Conceitual com Base em Processos de Comunicação Científica*. Ci. Inf, v. 36, n. 1, p. 92-107.
- LENZERINI, M. (2002). *Data Integration: A Theoretical Perspective*, PODS 2002: 233-246.
- LEWINSOHN, T. (2014). *A Evolução do Conceito de Biodiversidade*. Disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/biodiversidade/bio09.htm>. Acesso em junho/2014.
- LIDWELL, W.; HOLDEN, K.; BUTLER, J. (2003). *Universal Principles of Design*. Rockport Publishers, Minneapolis, MN.
- LLEWELLYN, S.; NORTHCOTT, D. (2007). The “Singular View” in Management Case Studiesqualitative Research in Organizations and Management. An International Journal, v. 2, n. 3, p. 194-207.
- LOFTING, C.J. (2015). *The Neuro-Cognitive and Emotional Roots of Mathematics*. Available at <http://pages.prodigy.net/lofting/NeuroMaths3.htm>. Accessed in May/2015.
- MARTIN, N. (1990). *Voucher Specimens: A Way to Protect the Value of your Research*. Biology and fertility of soils, 9(2):93–94.

- MASSMANN, S.; ENGMANN, D.; RAHM, E. (2006). *COMA++: Results for the Ontology Alignment Contest OAEI 2006*. In Proceedings of International Workshop on Ontology Matching, p. 107-114.
- MAYER-SCHÖNBERGER, V.; CUKLER, K. (2014). *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*. Eamon Dolan/Mariner Books; Reprint Edition (March 4, 2014). ISBN-10: 0544227751.
- MCGUINNESS, D.L. (2003). *Ontologies Come of Age*. In D. Fensel, J.A. Hendler, H. Lieberman, W. Wahlster (Eds.). *Spining The Semantic Web*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 171-194.
- MESSAOUD, M.B.; LERAY, P.; AMOR, N.B. (2015). *SEMCADO: A Serendipitous Strategy for Causal Discovery and Ontology Evolution*. Knowledge-Based Systems.
- MICHENER W.K. (2006). *Meta-Information Concepts for Ecological Data Management*. Ecological Informatics, 1(1), 3–7. <http://doi.org/doi:10.1016/j.ecoinf.2005.08.004>
- MICKLETHWAITT, J; WOOLDRIDGE, A. (1998). *Os Bruxos da Administração: Como Entender a Babel dos Gurus Empresariais*. Rio de Janeiro: Campus.
- MIGUEL, P.A.C. (2007). *Estudo de Caso na Administração: Estruturação e Recomendações para sua Condução*. Produção, v. 17, n. 1, p.216-229, jan./abr. 2007.
- MILLARD, D.E.; GIBBINS, N.M.; MICHAELIDES, D.T.; WEAL, M.J. (2005). *Mind the Semantic Gap*. HYPERTEXT'05: Proceedings of the 16<sup>th</sup> ACM Conference on Hypertext and Hypermedia, Salzburg, Austria, pp. 54-62.
- MILTON, N.; CLARKE, D.; SHADBOLT, N. (2006). *Knowledge Engineering and Psychology: Towards a Closer Relationship*. International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 64 No. 12, pp. 1214-29.
- MILTON, N. (2012). *Acquiring Knowledge from Subject Matter Experts*. In J. Kantola; W. Karwowski (Eds.), Knowledge Service Engineering Handbook. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- MINSKY, M. (1986). *The Society of Mind* (em inglês). Nova Iorque: Simon & Schuster, Touchstone Book UNB. 339 pp. ISBN 0-671-65713-5
- MIZZARO, S. (1997). *Relevance: The Whole History*. *Journal of the American Society for Information Science*, 48(9), 810–832.
- MIZZARO, S. (1998). *How Many Relevances in Information Retrieval? Interacting with Computers*, 10(3), 303–320.
- MOTIK, B.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; PARSIA, B. eds. (2009). *OWL 2 Web Ontology Language: Structural Specification and Functional-Style Syntax*. W3C Candidate Recommendation.
- MÜLLER, M.U.; ROSENBAACH, M.; SCHULZ, T. (2013) *Living by the Numbers: Big Data Knows What Your Future Holds*. SPIEGEL ONLINE. Disponível em: <http://www.spiegel.de/international/business/big-data-enables-companies-and->

researchers-to-look-into-the-future-a-899964.html. Acesso em : julho/2014.

- NAGAO, M. (1990). *Knowledge and Inference*. Academic Press Inc..
- NECHES et al. (1991). *Enabling Technology for Knowledge Sharing*. Artificial Intelligence Magazine. V. 12, n. 3, p. 36-56.
- NISBETT, R.E.; WILSON, T.D. (1977). *Telling More than we can Know: Verbal Reports on Mental Processes*. Psychological Review, 84, 231-259.
- NORVELL, L. L. (2011). *Fungal Nomenclature*. 1. Melbourne Approves a New Code. Mycotaxon, 116(1):481–490.
- NONAKA, I. (1994). *A Dynamic Theory Of Organizational Knowledge Creation*. Organization Science, Hanover, MD, v. 5, n. 1, p. 14-37.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, New York, New York, USA.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. (1997). *Criação do Conhecimento na Empresa: Como as Empresas Japonesas Geram a Dinâmica da Inovação*. Rio de Janeiro: Campus. 358 p.
- NOY, N.F.; MCGUINNESS, D.L. (2001). *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05, 2001.
- NOY, N.; MUSEN, M. (1999). *SMART: Automated Support for Ontology Merging and Alignment*. In Proceedings of the 12<sup>th</sup> Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop (KAW'99), 24p.
- NOY, N.; MUSEN, M. (2003). *The PROMPT Suite: Interactive Tools for Ontology Merging and Mapping*. International Journal of Human-Computer Studies, 59(6):983–1024.
- NOY, N.; SINTEK, M.; DECKER, S.; CRUBÉZY, M.; MUSEN, M. (2001). *Creating Semantic Web Contents with Protege-2000*. In IEEE Intelligent Systems, pp. 60 – 71.
- O'CONNOR, M.; TU, S.; NYULAS, C.; DAS, A.; MUSEN, M. (2007). *Querying the Semantic Web with SWRL*. In: LNCS (Ed.), The International RuleML Symposium on Rule Interchange and Applications (RuleML-2007). Vol. 4824. pp. 155–159.
- ODUM, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology*. Third edition, Saunders, New York.
- O'LEARY, D. (1997). *Impediments in the Use of Explicit Ontologies for KBS Development*. Int. J. Human-Computer Studies, v. 46, n. 2/3.
- OLIVEIRA, H. C; CARVALHO, C. L. (2008). *Gestão e Representação do Conhecimento*. Technical Report RT – INF – 003 – 08. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.
- OLIVEIRA, J.; SOUZA, J. M. de; MIRANDA, R.; RODRIGUES, S. (2005). *GCC: An Environment for Knowledge Management in Scientific Research and Higher Education*

- Centres. In: Proceedings of I-KNOW '05, Graz, Austria.
- OREN, E.; MÖLLER, K.H.; SCERRI, S.; HANDSCHUH, S.; SINTEK, M. (2006). *What are Semantic Annotations?*.
- OTERO-CERDEIRA, L.; RODRIGUEZ-MARTINEZ, F.J.; GÓMEZ-RODRIGUEZ, A. (2015). *Ontology Matching: A Literature Review*. Expert Systems With Applications. Elsevier.
- PAULHEIM, H.; HERTLING, S.; RITZE, D. (2013). *Towards Evaluating Interactive Ontology Matching Tools*. In P. Cimiano et. Al. (Eds.): ESWC 2013, LNCS 7882, pp. 31-45. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- PINHEIRO, J.M.S. (2010). Prova de Conceito (PoC) no Projeto de Redes de Computadores. Dezembro/2010. Disponível em <https://desmontacia.wordpress.com/2010/12/21/prova-de-conceito-poc-no-projeto-de-redes-de-computadores/>. Acesso em Abril/2016.
- PINTO, H. S.; GOMEZ-PEREZ, A.; MARTINS, J. P. (1999). *Some Issues on Ontology Integration*. In Proceedings of IJCAI99's Workshop on Ontologies and Problem Solving Methods: Lessons Learned and Future Trends, pages 7.1-7.12.
- PINTO, H.S.; MARTINS, J.P. (2000). *Reusing Ontologies*. In Association for the Advancement of Artificial Intelligence, pages 77–84.
- PITAC (2005). Report to the President. *Computational Science: Ensuring America's Competitiveness*. EUA. Disponível em [http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609\\_computational/computational.pdf](http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609_computational/computational.pdf). Acesso em Janeiro/2015.
- PLESSERS, P.; DE TROYER, O. (2005). *Ontology Change Detection Using a Version Log*. In The Semantic Web – ISWC 2005. Springer.
- POLANYI, M. (1966). *The Tacit Dimension*. First published Doubleday & Co, 1966. Reprinted Peter Smith, Gloucester, Mass, 1983.
- PORTER, J. (2008). *Designing for the Social Web*. New Riders Press, 1a edition. ISBN-10: 0321534921, ISBN-13: 978-0321534927.
- POWERS, S. (2003). *Practical RDF*. O'Reilly Media, 1st. edition. ISBN: 978-0596002633.
- RAMALHO, R.A.S.; FUJITA, M.S.L. (2008). *A Utilização de Ontologias em Bibliotecas Digitais: um Estudo Metodológico*. In: Proceedings of SEMINÁRIO DE PESQUISA EM ONTOLOGIA NO BRASIL UFF - IACS - Departamento de Ciência da Informação - Niterói, Rio de Janeiro.
- REGOCZEI, S.B.; HIRST, G. (1992). *Knowledge and Knowledge Acquisition in the Computational Context*. In R.R. Hoffman (Ed.). The Psychology of Expertise: Cognitive Research and Empirical AI, pp.12-25. New York: Springer Verlag.
- REZENDE, S.O. (2003). *Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: Manole, 525p.

- ROCHA, R.L.C. (2012). *Web Semântica Aplicada às Coleções Biológicas do INPA*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio.
- RODRIGUES, M. (2003). *Preservação Digital de Longo Prazo: Estado da Arte e Boas Práticas em Repositórios Digitais*. Dissertação de mestrado.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. (2010). *Artificial Intelligence - A Modern Approach*. Prentice Hall Series in AI.
- SALES, T. P. (2012). *Identificação de Padrões de Erro em Modelagem Conceitual Por Meio de Validação de Ontologias OntoUML Utilizando ALLOY*. Universidade Federal do Espírito Santo.
- SASIETA, H.A.M.; BEPLER, F.D.; PACHECO, R.C.S. (2011). *A Memória Organizacional no Contexto da Engenharia do Conhecimento*. DataGramZero – Revista de Informação, v.12 n.3, artigo 04, agosto/2011.
- SANTOS, J.L.C.; MAGALHÃES NETTO, J.F.; CASTRO JR, A.N.; ALBUQUERQUE, A.C.F.; FERNEDA, E.; ALONSO, L.; ROCHA, R.L.C.; MENDONCA, D.T. (2011). *Ontologias para Interoperabilidade de Modelos e Sistemas de Informação de Biodiversidade*. In: Proceedings of the Iberoamerican Meeting of Ontological Research collocated with the 6th. Iberoamerican Congress on Telematics CITA 2011. Aachen: CEURWS.org. v.728. 2011, Gramado.
- Sociedade Brasileira de Computação – SBC (2006). *Grandes Desafios da Pesquisa em Computação no Brasil 2006 - 2016*. Seminário Grandes Desafios, maio de 2006, Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/rebu/arquivos/SBC-Grandes.pdf>. Acesso em Janeiro/2015.
- SCHAFFERT, S.; GRUBER, A.; WESTENTHALER, R. (2006). *A Semantic Wiki for Collaborative Knowledge Formation*. Proceedings of the SEMANTICS 2005 Conference, Vienna, Austria.
- SCHREIBER, G.; AKKERMANS, H.; ANJEWIERDEN, A.; DE HOOG, R.; SHADBOLT, N.; DE VELDE, W.V.; WIELINGA, B. (2001). *Knowledge Engineering and Management – The CommonKADS Methodology*. MIT Press, 2<sup>nd</sup> Ed, Cambridge, MA.
- SCHREIBER, G. (2013). *Knowledge Acquisition and the Web*. International Journal of Human-Computer Studies, 71(2), 206-210.
- SERIQUE, K.J.A. (2014). *Uma Infraestrutura Semântica para Integração de Dados Científicos de Biodiversidade*. Exame de Qualificação. ICMC/USP - SP. Janeiro/2014.
- SETZER, V.W. (1999). *Dado, Informação, Conhecimento e Competência*. DataGramZero, Rio de Janeiro.
- SHADBOLT, N.R.; BURTON, A.M. (1990). *Knowledge Elicitation Techniques: Some Experimental Results*. In K. L. McGraw; C. R. Westphal (Eds.), Readings in Knowledge Acquisition. Ellis Horwood, New York, New York, USA.
- SHADBOLT, N. R.; BURTON, M. (1995). *Knowledge Elicitation*. In J.R. Wilson; N.

- Corlett (Eds.), *Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomics Methodology*. Taylor & Francis, London, England.
- SHADBOLT, N.R.; O'HARA, K.; CROW, L. (1999). *The Experimental Evaluation of Knowledge Acquisition Techniques and Methods: History, Problems and New Directions*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 51(4), 729-755.
- SHADBOLT, N.R. (2005). *Eliciting Expertise*. In J.R. Wilson; N. Corlett (Eds.) *Evaluation of Human Work* (3rd ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- SHADBOLT, N.; SMART, P.R. (2015). *Knowledge Elicitation: Methods, Tools and Techniques*. In J.R. Wilson; S. Sharples (eds.) *Evaluation of Human Work*. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press, 163-200. IBNS: 9780415267571.
- SHANMUGHAVEL, P. (2007). *An Overview on Biodiversity Information in Databases*. *Bioinformatics*, pages 367–369. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1891718/>. Acesso em: janeiro/2014.
- SHASTRI, L. (1991). *Why Semantic Networks?* In J. F. Sowa (Ed.), *Principles of Semantic networks: Explorations in the Representation of Knowledge* (pp. 109- 136). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- SHAW, M.L.G.; WOODWARD, J.B. (1990). *Modeling Expert Knowledge*. *Knowledge Acquisition*, 2, 179-206.
- SOWA, J.F. (1999). *Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations*. Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA, 2000. Actual publication date, 16 August 1999. 594 + xiv pages; ISBN 0-534-94965-7.
- SPENDER, J.C. (1996). *Making Knowledge the Basis of a Dynamic Theory of the Firm*. *Strategic Management Journal*, Vol. 17, pp. 45-62.
- STAAB, S. (Editor) (2006), SHADBOLT, N.; HALL, W.; BERNERS-LEE, T. *The Semantic Web Revisited*. *IEEE Intelligent Systems* 21(3), 96-101. DOI=<http://dx.doi.org/10.1109/MIS.2006.62>.
- STOJANOVIC, L.; MAEDCHE, A.; MOTIK, B.; STOJANOVIC, N. (2002). *User-Driven Ontology Evolution Management*. In *Knowledge Engineering and Knowledge Management: Ontologies and the Semantic web*. Springer.
- STOJANOVIC, L. (2004). *Methods and Tools for Ontology Evolution*. Research Center for Information Technologies at the University of Karlsruhe, Germany. PhD thesis.
- SURE, Y.; ANGELE, J.; STAAB, S. (2003). *Ontoedit: Multifaceted inferencing for ontology engineering*. In *Journal on Data Semantics I*. Springer
- TAVARES, R. (2007). *Construindo Mapas Conceituais*. *Ciências & Cognição* 2007; Vol 12: 72-85. Disponível em <http://www.cienciasecognicao.org>. Acesso em: setembro/2014.
- TOUTAIN, L.M.B.B. (2006). *Bibliotecas Digital: Definição de Termos*. Em C.H. Marcondes *et al.* (Orgs.). *Bibliotecas digitais: saberes e práticas*. Salvador: UFBA, 2006. p. 77-91.

- TURBAN, E. (2003). *Administração da Tecnologia da Informação*. Rio de Janeiro: Campus.
- TUTHILL, G.S. (1990). *Knowledge Engineering: Concepts and Practices for Knowledge Base Systems*. Tab Books.
- USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. (1996). *Ontologies: Principles, Methods and Applications*. Knowledge Engineering Review, v. 11, n. 2, p. 93-155. June.
- USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. (2004). *Ontologies and Semantics for Seamless Connectivity*. SIGMOD Record 33(4): 58–64.
- VALENTE, A. (1995). *Legal Knowledge Engineering - A Modelling Approach*. IOS Press.
- VICENTINI, L.A. (2006). *Gestão em Bibliotecas Digitais*. Em C.H. Marcondes et al. (Orgs.). *Bibliotecas digitais: saberes e práticas*. Salvador: UFBA, 2006. p. 77-91.
- VIDOTTI, S.A.B.G.; SANT'ANA, R.G. (2006). *Infra-Estrutura Tecnológica de uma Biblioteca Digital: Elementos Básicos*. Em C.H. Marcondes et al. (Orgs.). *Bibliotecas digitais: saberes e práticas*. Salvador: UFBA, 2006. p. 77-91.
- VIEGLAIS, D. (2003). *DIGIR Provider Manual*. Revision 1.10, May, 2003.
- VOINOV, A.; GAVRILOVA, T. (2008). *Cognitive Reengineering of Expert's Knowledge by the Implicit Semantics Elicitation*. Proceedings of 16<sup>th</sup> International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW 2008), Knowledge Patterns, Catania, pp. 69-71.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. (2002). *Case Research in Operationsmanagement*. International Journal Of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 195-219.
- WACHE, H.; VOGELE, T.; VISSER, U.; STUCKENSCHMIDT, H.; SCHUSTER, G.; NEUMANN, H.; HUBNER, S. (2001). *Ontology-Based Integration of Information; a Survey of Existing Approaches*. In Proceedings of IJCAI-01 Workshop: Ontologies and Information Sharing (A. G. Pèrez, M. Grüninger, H. Stuckenschmidt, and M. Uschold, eds.), (Seattle, WA), pp. 108–117.
- WANG, Y.; SURE, Y.; STEVENS, R.; RECTOR, A. (2006). *Knowledge Elicitation Plug-in for Protégé: Card Sorting and Laddering*. 1<sup>st</sup> Asian Semantic Web Conference, Beijing, China.
- WATERMAN, D.A. (1986). *How Do Expert Systems Differ from Conventional Programs?*. Expert Systems, v. 3, n. 1, p. 16-19.
- WATERMAN, D. (2004). *A Guide to Expert Systems*. Pearson Education, London.
- WELLMAN, J.L. (2009). *Organizational Learning: How Companies and Institutions Manage and Apply Knowledge*. Palgrave Macmillian. 2009.
- WENNERBERG, P.O. (2005). *Ontology Based Knowledge Discovery in Social Networks*. Final Report, JRC Joint Research Center. European Comission.

- W3C OWL Working Group. (2009). *OWL 2 Web Ontology Language Document Overview*. Disponível em: <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>. Acesso em: Dez. 2013
- YIN, R. K. (2005). *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*. 3 ed. Porto Alegre: Bookman.
- ZEMAN, J. (1970). *Significado Filosófico da Noção de Informação*. In: O Conceito de Informação na Ciência Contemporânea. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- ZHANG, J. (2007). *Ontology and the Semantic Web*. Proceedings of the North American Symposium on Knowledge Organization. Vol. 1. Disponível em <http://dlist.sir.arizona.edu/1897/>. Acesso em: setembro/2014.

## APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES RESULTANTES DA PESQUISA

### PUBLICAÇÕES

- [1] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2016). *A Progressive Formalization Schema for Tacit Knowledge*. Submitted to 8<sup>th</sup> International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development, KEOD 2016. Porto, Portugal, November 9<sup>th</sup> – 11<sup>th</sup>.
- [2] ALBUQUERQUE, A.C.F.; NASCIMENTO, J.M.P.; OLIVEIRA, D.C.; SERIQUE, K.J.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2016). *Analyzing Current Features and Limitations of OntoBio*. Submitted to IX Seminar on Ontology Research in Brazil, ONTOBRAS 2016. Curitiba, Brazil, October 3<sup>rd</sup> – 6<sup>th</sup>. CEURWS.
- [3] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2016). *Elicitation Taxonomy for Acquiring Biodiversity Knowledge*. To appear in International Conference on Knowledge Engineering and Semantic, KESW 2016. Prague, Czech Republica, September 21<sup>st</sup> – 23<sup>rd</sup>. IEEE.
- [4] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2016). *A Conceptual Framework to Integrate Scientific Tacit Knowledge*. To appear in Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference, IntelliSys 2016. London, UK, September 21<sup>st</sup> – 22<sup>nd</sup>. IEEE.
- [5] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2015). *Tacit Knowledge Formalization to Agregate Semantics and Expressiveness in Formal Ontologies*. Doctoral Consortium in Proceedings of 14<sup>th</sup> Mexican International Conference on Artificial Intelligence, MICA I 2015. Cuernavaca, Guerrero, Mexico, October 25<sup>th</sup> – 31<sup>st</sup>. IEEECP S. Computer Society Order Number P5721. pp. 67-72. ISBN: 978-1-5090-0323-5
- [6] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2015). *Elicitation Process and Knowledge Structuring: A Conceptual Framework for Biodiversity*. Proceedings of 14<sup>th</sup> Mexican International Conference on Artificial Intelligence, MICA I 2015. Cuernavaca, Guerrero, Mexico, October 25<sup>th</sup> – 31<sup>st</sup>. IEEECP S. IEEE Computer Society Order Number P5721. pp. 67-72. ISBN: 978-1-5090-0323-5
- [7] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2015). *Elicitação e Estruturação de Conhecimento: Um Framework Conceitual Aplicado à*

*Biodiversidade*. Em Anais do XXXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - CSBC 2015, 2015, Recife - Brasil. IX Brazilian E-Science Workshop – BRESCI 2015. Porto Alegre: SBC, 2015. ISSN 2175-2761.

- [8] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2015). *OntoBio: A Biodiversity Domain Ontology for Amazonian*. Proceedings of 48<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS 2015. Kauai, Hawaii, January 5<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup>. California - USA: IEEE, 2015. p. 3770-3779. ISBN: 978-1-4799-7367-5
- [9] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2012). *Aquisição de Conhecimento para as Próximas Gerações da Web*. In: II Workshop de Pesquisa em Informática WoPI 2012, Manaus.
- [10] SANTOS, J.L.C.; ALBUQUERQUE, A.C.F. (2012). *Brazil Towards Global Collaborative Science: A Proposal for SIBBr Cyberinfrastructure*. In: Proceedings of the 8th International Conference on Ecological Informatics ISEI 2012, Brasília.
- [11] ALBUQUERQUE, A.C.F.; SANTOS, J.L.C.; CASTRO JR, A.N. (2012). *Modeling an Ontology for Amazonian Biodiversity*. In: Proceedings of the 27<sup>th</sup>. Brazilian Symposium on Databases. SBBD 2012, 2012, São Paulo.

#### **CAPÍTULO DE LIVRO**

- [12] AMARAL, K. S. J. ; SANTOS, J. L. C. ; ALBUQUERQUE, A.C.F. (2014). *Mo Porã: Uma Ferramenta para o Gerenciamento Distribuído de Repositórios de Dados Científicos na Web*. In: Flávio Luizão; Thaíse Emílio. (Org.). Cenários para a Amazônia : Clima, Biodiversidade e Uso da Terra. 1ed. Manaus - AM: Editora do INPA,, v. , p. 149-159. ISBN 978-85-211-0126-0.



## APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DOS MODELOS MENTAIS ELICITADOS E TRATADOS EM *E1*

MODELO MENTAL	DESCRIÇÃO
MM1	Ocorrência de cará ( família Cichlidae) quando há presença de macrófita flutuante ( <i>Neptunia oleraceae</i> ).
MM2	Ocorrência de bodó (cascudo) (família Loricariidae, sub-família Hypoptopomatinae), em troncos velhos encharcados com reentrância.
MM3	Para pescar jatuarana (gênero <i>Brycon</i> ), utilizar semente de jauari (gênero <i>Astrocarium</i> ).
MM4	A macrófita preferida do peixe-boi ( <i>Trichechus manatus</i> ) é o capim Canarana ( <i>Echinochloa polystachya</i> ).
MM5	Bagre do poço ( <i>Phreatobius cisternarum</i> ) é encontrado em poços e em bancos de folhas submersas profundas.
MM6	Ocorrência de bodó (cascudo) (família Loricariidae, sub-família Hypoptopomatinae) em corredeira, buscar ramos submersos por trás e por baixo.
MM7a	Cangatí (família Auchenipteridae, gênero <i>Centromochlus</i> ) mais fácil de ser coletado no crepúsculo vespertino com puçá. Os animais vêm à superfície para pegar insetos que caem na água.
MM7b	Carataí (família Auchenipteridae, gênero <i>Tatia</i> ) mais fácil de ser coletado no crepúsculo vespertino com puçá. Os animais vêm à superfície para pegar insetos que caem na água.
MM8	Pesca em cachoeira apresenta melhores resultados com coleta manual durante mergulho. A partir do momento que se começa a levantar e virar as pedras do fundo, os peixes vem comer a fauna e micro-organismos que vivem nestes locais.
MM9	Tralhoto (família Anablepidae, gênero <i>Anableps</i> ), também conhecido como olhudo, é mais fácil de ser pescado à noite, com puçá, em zona de transição aquático-terrestre.
MM10	Ocorrência de bagre folha (gênero <i>Helogenes</i> ) por baixo de apanhado

	de folhas. Utilizar puçá.
MM11a	Ocorrência da família Loricariidae gênero <i>Acestridium</i> em vegetação aquática, com folhas com formato laminar em área de correnteza.
MM11b	Ocorrência da família Crenuchidae gênero <i>Ammocryptocharax</i> em vegetação aquática, com folhas com formato laminar em área de correnteza.
MM11c	Ocorrência da família Loricariidae gênero <i>Farlowella</i> em vegetação aquática, com folhas com formato laminar em área de correnteza.
MM12	Ocorrência da família Characidae em igarapé de terra firme, com água corrente com pedras e paus e temperatura mais baixa.
MM13a	Guarapariba ( <i>Couralia toxophora</i> ) é isca utilizada para peixes não carnívoros.
MM13b	Capitarí ( <i>Tabebuia aquatilis</i> ) é isca utilizada para peixes não carnívoros.
MM14	Aumento do foco do mosquito com o florar do táxi branco ( <i>Sclerobium paniculatum</i> ).



## APÊNDICE E – REPRESENTAÇÃO EM OWL DO MME3A

MM3 – Para pescar jatuarana (gênero Brycon), utilizar semente de jauari (gênero Astrocarium).

### BCE-3A

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF xmlns="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#"
  xml:base="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  <owl:Ontology
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl"/>

  <!--

////////////////////////////////////
////
//
// Object Properties
//

////////////////////////////////////
////
-->

  <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classifica -->

  <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classifica">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
    <owl:inverseOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Classif
ica"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberO
f"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
  </owl:ObjectProperty>

  <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Define -->

  <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Define">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
```

```

        <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Determinado
r"/>
        <owl:inverseOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Define"
/>
        <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberO
f"/>
        <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
        </owl:ObjectProperty>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EClassificadoComo -->

        <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EClassificadoC
omo">
        <owl:inverseOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.EClassi
ficadoComo"/>
        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoClass
ificado"/>
        <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
        </owl:ObjectProperty>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ECompostaDe -->

        <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ECompostaDe">
        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Expedicao"/
>
        <owl:inverseOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.ECompos
taDe"/>
        <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberO
f"/>
        <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
        <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
        </owl:ObjectProperty>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Classifica -
->

        <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Classifica
">
        <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
        <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberO
f"/>

```

```

    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
    </owl:ObjectProperty>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Define -->

    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Define">
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Determinado
r"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberO
f"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
    </owl:ObjectProperty>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.EClassificadoComo -->

    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.EClassific
adoComo">
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoClass
ificado"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
    </owl:ObjectProperty>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.ECompostaDe
-->

    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.ECompostaD
e">
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Expedicao"/
>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberO
f"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
    </owl:ObjectProperty>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.PodeTer -->

```

```

    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.PodeTer">
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EntidadeMaterial"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberOf"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlternativoDeAquisicao"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
    </owl:ObjectProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Possui -->

```

```

    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Possui">
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ElementoTaxonomico"/>
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberOf"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberOf"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeColeta"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoColetado"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Possui"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDoObjeto"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
    </owl:ObjectProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberOf -->

```

```

    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.memberOf">
    <rdfs:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#AsymmetricProperty"/>
    <rdfs:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#IrreflexiveProperty"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#PodeTer"/>

```

```

    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Possui"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
    <owl:inverseOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
  </owl:ObjectProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#PodeTer -->

```

```

  <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#PodeTer">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EntidadeMaterial"/>
    <owl:inverseOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.PodeTer"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlternativoDeAquisicao"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
  </owl:ObjectProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Possui -->

```

```

  <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Possui">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ElementoTaxonomico"/>
    <owl:inverseOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Possui"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeColeta"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoColetado"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDoObjeto"/>
    <owl:propertyDisjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf"/>
  </owl:ObjectProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf -->

<owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#memberOf">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#AsymmetricProperty"/>
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#IrreflexiveProperty"/>
</owl:ObjectProperty>

<!--

////////////////////////////////////
////
//
// Data properties
//

////////////////////////////////////
////
-->

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.DataDeFim -->

<owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.Data
DeFim">
  <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/
>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
</owl:DatatypeProperty>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.DataDeInicio --
>

<owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.Data
DeInicio">
  <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/
>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
</owl:DatatypeProperty>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.HoraDeFim -->

<owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.Hora
DeFim">
  <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/
>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
</owl:DatatypeProperty>

```

```

    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.HoraDeInicio --
>

    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.Hora
DeInicio">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/
>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:DatatypeProperty>

    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica.A
noDeDescricao -->

    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoT
axonomica.AnoDeDescricao">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer"/>
    </owl:DatatypeProperty>

    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica.C
odigoDoArtigo -->

    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoT
axonomica.CodigoDoArtigo">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:DatatypeProperty>

    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica.D
escricao -->

    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoT
axonomica.Descricao">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:DatatypeProperty>

    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica.N
omeDoPesquisador -->

    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoT
axonomica.NomeDoPesquisador">

```

```

        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
        <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:DatatypeProperty>

    <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Isca.Tipo -->

    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Isca.Tipo">
        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Isca"/>
        <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:DatatypeProperty>

    <!--

////////////////////////////////////
////
//
// Classes
//
////////////////////////////////////
////
-->

    <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao -->

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao">
        <owl:equivalentClass>
            <owl:Class>
                <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
                    <owl:Restriction>
                        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#PodeTer"/>
                        <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
                    </owl:Restriction>
                    <owl:Restriction>
                        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Possui"/>
                        <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoColet
ado"/>
                    </owl:Restriction>
                    <owl:Restriction>
                        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.D
ataDeFim"/>
                        <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualified
Cardinality>
                    <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
                    </owl:Restriction>
                    <owl:Restriction>

```

```

        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.D
ataDeInicio"/>
        <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualified
Cardinality>
        <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
        </owl:Restriction>
        <owl:Restriction>
        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.H
oraDeFim"/>
        <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualified
Cardinality>
        <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
        </owl:Restriction>
        <owl:Restriction>
        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao.H
oraDeInicio"/>
        <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualified
Cardinality>
        <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
        </owl:Restriction>
        </owl:intersectionOf>
        </owl:Class>
    </owl:equivalentClass>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ElementoTax
onomico"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EntidadeMat
erial"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Genus"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeCol
eta"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular
"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEst
udo"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
    </owl:Class>

```

```

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica -
->

<owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Restriction>
          <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica"
/>
          <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDoObjeto"/>
          </owl:Restriction>
        <owl:Restriction>
          <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Define"/>
          <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Determinador"/>
          </owl:Restriction>
        <owl:Restriction>
          <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica.AnoDeDescricao"/>
          <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
          <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer"/>
          </owl:Restriction>
        <owl:Restriction>
          <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica.CodigoDoArtigo"/>
          <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
          <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
          </owl:Restriction>
        <owl:Restriction>
          <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica.Descricao"/>
          <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
          <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
          </owl:Restriction>
        <owl:Restriction>
          <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica.NomeDoPesquisador"/>
          <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
          <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
          </owl:Restriction>
        </owl:intersectionOf>
      </owl:Class>
    </owl:equivalentClass>
  </owl:Class>
</owl:equivalentClass>

```

```

    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ElementoTax
onomico"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EntidadeMat
erial"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Genus"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeCol
eta"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular
"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEst
udo"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
    </owl:Class>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Determinador -->

```

```

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Determinador">
    <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
        <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty>
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Define"
/>
                <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Classificac
aoTaxonomica"/>
            </owl:Restriction>
        </owl:intersectionOf>
    </owl:Class>
    </owl:equivalentClass>
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa"/>
    </owl:Class>

```

```

<!--

```

```

http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ElementoTaxonomico -->

```

```

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ElementoTaxono
mico">
    <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
        <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
            <owl:Restriction>

```

```

        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Possui"
/>
        <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
        </owl:Restriction>
    </owl:intersectionOf>
</owl:Class>
    </owl:equivalentClass>
</owl:Class>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EntidadeMaterial
-->

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EntidadeMateri
al">
        <owl:equivalentClass>
            <owl:Class>
                <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
                    <owl:Restriction>
                        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#PodeTer"/>
                        <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular
"/>
                    </owl:Restriction>
                </owl:intersectionOf>
            </owl:Class>
        </owl:equivalentClass>
    </owl:Class>

    <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Expedicao -->

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Expedicao">
        <owl:equivalentClass>
            <owl:Class>
                <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
                    <owl:Restriction>
                        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ECompostaDe
"/>
                    <owl:onClass
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
                    <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualified
Cardinality>
                </owl:Restriction>
            </owl:intersectionOf>
        </owl:Class>
    </owl:equivalentClass>
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/
>
    </owl:Class>

    <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Genus -->

```

```

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Genus">
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ElementoTax
onomico"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeCol
eta"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular
"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEst
udo"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
    </owl:Class>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Isca -->

```

```

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Isca">
    <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
    <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
    <owl:Restriction>
    <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Isca.Tipo"/
>
    <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualified
Cardinality>
    <owl:onDataRange
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:Restriction>
    </owl:intersectionOf>
    </owl:Class>
    </owl:equivalentClass>
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeCol
eta"/>
    </owl:Class>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeColeta -
->

```

```

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeColeta
">
    <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
    <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
    <owl:Restriction>

```

```

        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Possui"
/>
        <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
        </owl:Restriction>
    </owl:intersectionOf>
</owl:Class>
</owl:equivalentClass>
<owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular
"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEst
udo"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
    </owl:Class>

    <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#NomePopular">
        <owl:equivalentClass>
            <owl:Class>
                <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
                    <owl:Restriction>
                        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.PodeTer
"/>
                            <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EntidadeMat
erial"/>
                                </owl:Restriction>
                            </owl:intersectionOf>
                        </owl:Class>
                    </owl:equivalentClass>
                    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEst
udo"/>
                        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa"/>
                        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
                            <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
                            <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
                                </owl:Class>

```

```

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoClassificado -->

  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoClassifi
cado">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Restriction>
          <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EClassifica
doComo"/>
          <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
        </owl:Restriction>
      </owl:intersectionOf>
    </owl:Class>
  </owl:equivalentClass>
  <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEst
udo"/>
  </owl:Class>

  <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoColetado -
->

  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoColetado
">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Restriction>
          <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Possui"
/>
          <owl:onClass
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/
>
          <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualified
Cardinality>
        </owl:Restriction>
      </owl:intersectionOf>
    </owl:Class>
  </owl:equivalentClass>
  <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEst
udo"/>
  </owl:Class>

  <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEstudo -
->

  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoEmEstudo
">
  <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#EntidadeMat
erial"/>
  <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa"/>

```

```

        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
        </owl:Class>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa -->

        <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Pessoa">
        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo"/
>
        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
        </owl:Class>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo -->

        <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Protocolo">
        <owl:equivalentClass>
        <owl:Class>
        <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Restriction>
        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.ECompos
taDe"/>
        <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Expedicao"/
>
        </owl:Restriction>
        <owl:Restriction>
        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Possui"/>
        <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#MetodoDeCol
eta"/>
        </owl:Restriction>
        </owl:intersectionOf>
        </owl:Class>
        </owl:equivalentClass>
        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlte
rnativoDeAquisicao"/>
        <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDo
Objeto"/>
        </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlternativoDeAquis
icao -->

```

```

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#RecursoAlternativoDeAquisicao">
    <owl:equivalentClass>
        <owl:Class>
            <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Restriction>
                    <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.PodeTer"/>
                    <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Aquisicao"/>
                </owl:Restriction>
            </owl:intersectionOf>
        </owl:Class>
    </owl:equivalentClass>
    <owl:disjointWith
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDoObjeto"/>
    </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDoObjeto -->

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#TaxonomiaDoObjeto">
    <owl:equivalentClass>
        <owl:Class>
            <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Restriction>
                    <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.Classificacao"/>
                    <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ClassificacaoTaxonomica"/>
                </owl:Restriction>
                <owl:Restriction>
                    <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#INV.EClassificadoComo"/>
                    <owl:someValuesFrom
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ObjetoClassificado"/>
                </owl:Restriction>
                <owl:Restriction>
                    <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#Possui"/>
                    <owl:onClass
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/5/ontology.owl#ElementoTaxonomico"/>
                    <owl:minQualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">7</owl:minQualifiedCardinality>
                </owl:Restriction>
            </owl:intersectionOf>
        </owl:Class>
    </owl:equivalentClass>
</owl:Class>
</rdf:RDF>

```

<!-- Generated by the OWL API (version 3.4.4) <http://owlapi.sourceforge.net> -->

## APÊNDICE F – RECOMENDAÇÕES DE MUDANÇA APÓS APLICAÇÃO DO *FRAMEWORK* CONCEITUAL NA ONTOBIO

O conhecimento científico tácito, por estar baseado também na informação científica, pode conduzir a hipóteses que levam a uma visão científica do conhecimento. A aplicação do *framework* conceitual para integrar conhecimento científico tácito aplicado à OntoBio sugere algumas recomendações de mudanças para a ontologia. Estas mudanças estão associadas aos modelos mentais elicitados (MMs) que são:

- Criar uma relação formal (pode ter) entre Entidade Biótica (1..\*) e Nome Popular (1..\*). Uma Entidade Biótica pode estar associada a múltiplos nomes e a um nome podem estar associadas mais de uma Entidade Biótica (MMs 1 to 10);
- Especializar Macro Ambiente/Aquático em Banco de Macrófitas (MM1);
- Especializar Macro Ambiente/Aquático em Tronco Encharcado (MM2);
- Especializar Método de Coleta em Isca (MMs 3, 13a, 13b);
- Criar uma relação formal (se alimenta de) entre Entidade Material (1..\*) e Entidade Biótica (1..\*). Uma Entidade Biótica pode se alimentar de muitas Entidades Material e uma Entidade Material pode ser alimento de mais de uma Entidade Biótica (MM3, 4, 13a, 13b);
- Especializar Macro Ambiente/Aquático em Poço e Banco de Folhas Submersas (MM5);
- Especializar Macro Ambiente /Aquático em galhos submersos (MM6);
- Especializar Método de Coleta em Puçá (MMs 7a, 7b, 9);
- Criar uma relação formal entre Ambiente (1..\*) e Método de Coleta (1..\*). Para determinado Ambiente podem ser adotados mais do que um método de Coleta e um Método de Coleta pode ser usado em mais de um Ambiente, dependente da Entidade Biótica que será coletada (MM8);
- Especializar Macro Ambiente/Aquático em Zona de Transição Aquático-Terrestre (MM9);
- Especializar Macro Ambiente/Aquático em Apanhado de Folhas (MM10);
- Criar uma relação formal entre Entidade Biótica (1..\*) e Habitat (1..\*). Uma Entidade Biótica pode ter múltiplos Habitats e um Habitat pode estar associado a mais de uma Entidade Biótica (MMs 11a, 11b, 11c);

- Criar uma relação *component of* (composto por) entre Habitat (1..\*) e Ambiente (1..\*). Um Habitat é composto por múltiplos Ambientes e um Ambiente pode fazer parte de mais de um Habitat (MMs 11a, 11b, 11c);
- Especializar Macro Ambiente/Aquático em Igarapé de Terra Firme<sup>54</sup> (MM12);
- Criar o novo conceito Órgão e instanciá-lo com Flor (MM14);
- Criar uma relação formal (tem) entre Entidade Biótica e Órgão (MM14);
- Criar uma relação formal (ocorre) entre Entidade Biótica (1..\*) e Entidade Biótica (1..\*). A ocorrência de um organismo A está sujeita à ocorrência de um organismo B (MM14).

---

<sup>54</sup> Pequeno corpo de água, geralmente um rio afluente ou um canal. É uma palavra utilizada por tribos Tupi indígenas quando se referem a um pequeno estreito ou canal entre duas ilhas, ou entre uma ilha e a terra firme. *Igarapés* só permitem passagem de pequenas embarcações (como canoas), uma vez que são rasos, e normalmente possuem águas escuras, estando localizados em matas ou florestas amazônicas (KENNEDY, 2014).