

Janaína Mayara Pinto do Nascimento

Estratégia para Evolução de Ontologia: Um Estudo de Caso na Biodiversidade

Manaus

Abril de 2016

Janaína Mayara Pinto do Nascimento

Estratégia para Evolução de Ontologia: Um Estudo de Caso na Biodiversidade

Dissertação apresentada ao Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas, para a obtenção do Grau de Mestre em Informática.

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

Orientador: Alberto Nogueira de Castro Junior

Manaus
Abril de 2016

Ficha Catalográfica

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

N244e Nascimento, Janaína Mayara Pinto do
Estratégia para evolução de ontologia: um estudo de caso na biodiversidade / Janaína Mayara Pinto do Nascimento. 2016
151 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Alberto Nogueira de Castro Júnior
Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Gestão do Conhecimento. 2. Modelagem do Conhecimento. 3. Inteligência Artificial. 4. Ontologia. 5. Evolução de Ontologia. I. Castro Júnior, Alberto Nogueira de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Agradecimentos

Obrigada à Deus e minha família, que sempre me ajudaram e me deram forças para não desistir, acreditando em mim sempre, até quando nem eu mesma acreditava. Obrigada por esse amor eterno. Minha mãe Rosângela, meus tios Juscelino, Sérgio e Jocéli, minhas tias Maria e Cléo, minha tia de coração Ivanilda, minha avó de consideração Osmarina e minha sogra Irenilda. Obrigada por todo apoio, carinho, paciência e amor em cada momento que vivi ao longo desses dois anos longe de casa, porém sempre com todos vocês no coração. Obrigada por não me fazerem esquecer o quanto a família é uma benção em nossa vida. Um obrigada especial à minha mãe que sempre fez de tudo para que eu conseguisse chegar até aqui, me dando condições e amor para eu não desistir, sem ela nada disso seria possível. Obrigada ao meu namorado Delano por toda ajuda, paciência, apoio, aprendizado, às discussões científicas, às noites estudando com objetivo de desenvolver um bom trabalho, por fazer minhas imagens e revisar meu texto sempre contribuindo, obrigada pela parceria indubitável.

Obrigada ao orientador Alberto Nogueira, pelo conhecimento compartilhado, por todo suporte e ajuda. Obrigada ao professor Antônio Cândido por todo apoio e por está sempre a disposição para facilitar o que estivesse em seu alcance. Obrigada aos pesquisadores Mário Cohn-Haft, Cláudia de Deus e Sidinéia Amadio, por disponibilizarem seu tempo e conhecimento. Em especial ao Jansen Zuanon por toda a paciência e atenção que disponibilizou em sua entrevista e em todos os esclarecimentos que me deu ao longo do trabalho. Obrigada ao professor Marcos Paulo por todo incentivo e apoio antes do mestrado e por ser um dos principais responsáveis por esse ciclo na minha vida.

Obrigada ao meu amigo Marcos Felipe pela parceria nos trabalhos, nos momentos bons e difíceis. Obrigada aos meus amigos Rebeca Messing, Bruno Takeshi e Helen Nascimento por todo carinho e ajuda que não tenho como agradecer, obrigada por tornarem essa jornada mais fácil para mim. Obrigada as minhas amigas Juliana dos Santos e Deby Rodrigues por sempre me incentivarem mesmo de longe e me apoiarem em todos os momentos. Por acreditarem em mim e me fazerem mais forte. Obrigada amigas!

Obrigada a meus familiares e amigos em geral, a todos que conheci nessa jornada e me ajudaram de alguma forma a crescer.

Obrigada a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro, viabilizado por meio de uma bolsa de mestrado.

Obrigada a Luz que apesar de toda escuridão nunca deixa de nos guiar.

Obrigada a todos que torceram e torcem por mim!

*“If at first the idea is not absurd, then there is
no hope for it.”*
Albert Einstein

*“O sofrimento é um remédio amargo para os erros
cometidos e não uma punição divina.”*
Autor Desconhecido

Resumo

Informações e interoperabilidade semântica entre aplicações, serviços e sistemas, vêm contribuindo ao longo dos anos para a crescente utilização de ontologias, aumentando a importância da manutenção destas estruturas. Realizar gestão de mudanças com objetivo de tornar uma ontologia compreensível para novos contextos envolve áreas como: engenharia, evolução, controle de versão, fusão, integração e manutenção de ontologias. As mudanças na ontologia podem surgir por diferentes razões, tais como: o domínio mudou ou a maneira de entendê-lo mudou. Comportar mudanças em uma ontologia é uma tarefa crucial, visto que consistência e coerência devem ser sempre mantidas, assim como resolução de conflitos e propagação dessas mudanças. Para isso, existem algumas abordagens na literatura para evolução de ontologias, porém nenhuma delas se utiliza de conhecimento tácito do especialista para dar suporte no processo de evolução. Nesse contexto, esta investigação objetiva, através da utilização de modelos mentais de especialistas como fonte de conhecimento, estabelecer uma estratégia para evolução de ontologias, provendo sugestões de mudança para estas, além de analisar e criar um modelo de mapeamento para essas sugestões. Tal estratégia utiliza como estudo de caso uma ontologia formal para o domínio de biodiversidade. Ademais, houve uma reestruturação na ontologia de domínio para ser aplicada na estratégia, assim como o desenvolvimento de um esquema de anotação para a mesma, o que posteriormente é utilizado como uma avaliação preliminar da investigação, onde as sugestões propostas são aplicadas na ontologia para análises de consistência e coerência.

Palavras-chave: Gestão do Conhecimento, Modelagem do Conhecimento, Inteligência Artificial, Ontologia, Evolução de Ontologia.

Abstract

Information and semantic interoperability between applications, systems and services, has contributed over the years to the growing use of ontologies, increasing the importance of maintaining these structures. Perform management of changes in order to make a comprehensive ontology to new contexts involves areas such as engineering, development, version control, merger, integration and ontologies maintenance. Changes in the ontology can arise for different reasons, such as, the domain has changed or its way of understanding has changed. Operate changes in an ontology is a crucial task, since consistency and coherence should always be kept, as well as conflict resolution and propagation of changes. There are some approaches in the literature for ontology evolution, but none of them uses expert tacit knowledge to support the evolution process. In this context, this research aims, through the use of experts' mental models as a knowledge source, establish an architecture to ontology evolution, providing suggestions for change in question, and analyzing and creating a mapping model of these suggestions. Such strategy uses as a case study a formal ontology for the biodiversity domain. Furthermore, the domain ontology used was restructured to be applied to this strategy and an annotation scheme for the same has been developed. Moreover, as a preliminary assessment of investigation, the suggestions made will be applied in the ontology to consistency and coherence analysis.

Keywords: Knowledge Management, Knowledge Modeling, Artificial Intelligence, Ontology, Ontology Evolution.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Escala do conhecimento (VIEGAS, 1999).	15
Figura 2 – Instrumento de RC.	18
Figura 3 – O espectro em análise (ALMEIDA; SOUZA; FONSECA, 2011).	18
Figura 4 – Mudança de ontologias.	23
Figura 5 – Visão geral da investigação.	24
Figura 6 – Modelo proposto para elicitación do conhecimento (ALBUQUERQUE, 2014).	25
Figura 7 – Tipos de ontologias segundo nível de dependência (GUARINO, 1998).	37
Figura 8 – Fragmento da UFO em esquema de níveis – Universais, Monádicos e Indivíduos (ZAMBORLINI, 2011).	40
Figura 9 – Versionamento de ontologias.	44
Figura 10 – Fusão de ontologias.	45
Figura 11 – Integração de ontologias.	46
Figura 12 – Aprendizado de ontologias.	47
Figura 13 – Evolução de ontologias.	49
Figura 14 – Esquema simplificado da ontologia de biodiversidade – OntoBio (ALBUQUERQUE; SANTOS; CASTRO, 2015).	57
Figura 15 – Perspectiva de ampliação do conhecimento.	67
Figura 16 – As seis fases do processo de evolução de ontologia (STOJANOVIC et al., 2002).	68
Figura 17 – Adaptação do processo de evolução de referência.	69
Figura 18 – Visão geral da estratégia para evolução de ontologias.	71
Figura 19 – Estratégia de evolução utilizando a OntoBio ^R	72
Figura 20 – Implementação das sugestões de mudança da H03 na OntoBio ^R	79
Figura 21 – Exemplo de utilização do programa OntoSys	81
Figura 22 – Programa OntoSys – Informação já contemplada na OntoBio ^R	81
Figura 23 – Programa OntoSys – Não há heurística para tratar essa entrada de informação.	82
Figura 24 – Programa OntoSys – Menu de navegação.	82
Figura 25 – Fluxo de Execução do OntoSys	83
Figura 26 – MOE (1) baseado na OntoBio ^R	84
Figura 27 – MOE (2) baseado na OntoBio ^R	85
Figura 28 – Sub-ontologia Ambiente, presente na OntoBio.	107
Figura 29 – Sub-ontologia Ecossistema, presente na OntoBio.	108
Figura 30 – Sub-ontologia Ambiente, presente na OntoBio ^R	108
Figura 31 – Sub-ontologia Coleta, presente na OntoBio.	108

Figura 32 – Sub-ontologia Aquisição, presente na OntoBio ^R	109
Figura 33 – Sub-ontologia Classificação Taxonômica, presente na OntoBio ^R	110
Figura 34 – Sub-ontologia Espaço Geográfico, presente na OntoBio.	111
Figura 35 – Sub-ontologia Espaço Geográfico, presente na OntoBio ^R	112
Figura 36 – Sub-ontologia Entidade Biótica, presente na OntoBio.	113
Figura 37 – Sub-ontologia Organismo após as alterações. Presente na OntoBio ^R	114
Figura 38 – Esquema detalhado da OntoBio.	148
Figura 39 – Esquema detalhado da OntoBio ^R	149
Figura 40 – Esquema detalhado da OntoBio ^R Evoluída.	150

Lista de tabelas

Tabela 1 – Sub-áreas de mudança de ontologias. Adaptado de (FLOURIS et al., 2008).	48
Tabela 2 – Ferramentas para edição de ontologias. Adaptado de (KHATTAK et al., 2013).	50
Tabela 3 – Abordagens de evolução de ontologia. (KHATTAK et al., 2013), (CASTANO; FERRARA; HESS, 2006)	64
Tabela 4 – Modelo de mapeamento para sugestão de mudança.	76
Tabela 5 – Critérios para análise ontológica.	86
Tabela 6 – Mapeamento da sugestão de mudança H-001.	131
Tabela 7 – Mapeamento da sugestão de mudança H-002.	131
Tabela 8 – Mapeamento da sugestão de mudança H-003.	132
Tabela 9 – Mapeamento da sugestão de mudança H-004.	132
Tabela 10 – Mapeamento da sugestão de mudança H-005.	133
Tabela 11 – Mapeamento da sugestão de mudança H-006.	134
Tabela 12 – Mapeamento da sugestão de mudança H-007.	135
Tabela 13 – Mapeamento da sugestão de mudança H-008.	135
Tabela 14 – Mapeamento da sugestão de mudança H-009.	136
Tabela 15 – Mapeamento da sugestão de mudança H-010.	137
Tabela 16 – Mapeamento da sugestão de mudança H-011.	138
Tabela 17 – Mapeamento da sugestão de mudança H-012.	139
Tabela 18 – Mapeamento da sugestão de mudança H-013.	140
Tabela 19 – Mapeamento da sugestão de mudança O-001.	141
Tabela 20 – Mapeamento da sugestão de mudança O-002.	142

Lista de abreviaturas e siglas

BC	Base de Conhecimento
CBA	Centro de Biotecnologia da Amazônia
CBN	<i>Causal Bayesian Network</i>
CDB	Convensão sobre Diversidade Biológica
CHL	<i>Change History Log</i>
CML	<i>Conceptual Modelling Language</i>
CMMI	<i>Capability Maturity Model - Integration</i>
CRIA	Centro de Referência em Informação Ambiental
CVS	<i>Concurrent Versions System</i>
DL	<i>Description Logic</i>
DS	Dicionário Semântico
EA	Enterprise Architect
EC	Elicitação do Conhecimento
ENVO	<i>Environment Ontology</i>
EPO	<i>Epidemiology Ontology</i>
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
GEO	<i>Geographical Entity Ontology.</i>
GO	Gene Ontology
IA	Inteligência Artificial
INPA	Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KIF	<i>Knowledge Interchange Format</i>
LBA	Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
LPO	Lógica de Primeira Ordem

MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MOE	Modelo Ontológico do Especialista no domínio de Biodiversidade
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
NYBG	<i>New York Botanical Garden</i>
OWL	<i>Web Ontology Language</i>
PCT	<i>Personal Construct Theory</i>
PDP	Processamento Distribuído Paralelo
PMC	Projeto de Monitoramento e Controle
PPBio	Programa de Pesquisa em Biodiversidade
RC	Representação do Conhecimento
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
SBC	Sistema Baseado em Conhecimento
SemCaDo	<i>Semantic Causal Discovery</i>
UFO	<i>Unified Foundational Ontology</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
USP	Universidade de São Paulo
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>eXtended Markup Language</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Motivação e Justificativa	19
1.2.1	Porque é Importante Realizar a Manutenção de Ontologias	20
1.3	Questões de Pesquisa	23
1.4	Objetivo	25
1.5	Método de Pesquisa	26
1.6	Contribuições	27
1.7	Organização da Dissertação	28
2	ONTOLOGIA E EVOLUÇÃO DE ONTOLOGIAS	30
2.1	Introdução	30
2.2	Conhecimento, Representação e Raciocínio	30
2.3	Elicitação do Conhecimento	31
2.4	Ontologias	34
2.4.1	Componentes de uma Ontologia	35
2.4.2	Características	36
2.4.3	Classificação	37
2.4.4	Linguagens de Representação	37
2.4.5	Crterios de Qualidade para Criação	38
2.4.6	<i>Unified Foundational Ontology (UFO)</i>	39
2.4.7	Engenharia de Ontologia	40
2.4.8	OntoUML	42
2.4.9	<i>Web Ontology Language</i>	42
2.4.10	Aplicações de Ontologias	42
2.5	Mudanças em Ontologias	43
2.6	Evolução de Ontologias	47
2.6.1	<i>Ontology Matching</i>	48
2.6.2	Classificação de Mudanças	49
2.6.3	Manutenção da Coerência na Evolução de Ontologias	51
2.6.4	Importância da Evolução de Ontologias	51
2.6.5	Problemas na Evolução de Ontologias	52
2.7	Informação de Biodiversidade	53
2.7.1	Personas da Biodiversidade	54
2.7.2	O Panorama da Complexidade dos Dados de Biodiversidade	55

2.8	Ontologia para Biodiversidade – OntoBio	56
2.8.1	Reestruturação da Ontologia para Biodiversidade – OntoBio ^R	56
2.9	Considerações Finais do Capítulo	57
3	TRABALHOS RELACIONADOS	59
3.1	<i>Evolving Ontology Evolution</i>	59
3.2	<i>SemCaDo: A serendipitous Strategy for Causal Discovery and Ontology Evolution</i>	60
3.3	<i>A Versioning Management Model for Ontology-Based Data Warehouses</i>	61
3.4	<i>Building an Integrated Framework for Ontology Evolution Ma- nagement</i>	61
3.5	<i>Discovery Driven Ontology Evolution</i>	62
3.6	<i>Approche d'évolution d'ontologie Guidée par des Patrons de Gestion de Changement</i>	63
3.7	Considerações Finais do Capítulo	64
4	ESTRATÉGIA PARA EVOLUÇÃO DE ONTOLOGIAS	66
4.1	Introdução	66
4.2	Processo de Evolução de Referência	67
4.3	Visão Geral da Estratégia de Evolução de Ontologias	70
4.4	Estratégia de Evolução Utilizando a OntoBio ^R	72
4.5	Considerações Finais do Capítulo	74
5	IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRATÉGIA PARA EVOLUÇÃO DE ONTOLOGIAS	75
5.1	Introdução	75
5.2	Dicionário Semântico (DS)	75
5.3	Modelo de Mapeamento para Sugestões de Mudanças	76
5.4	Etapa Heurística	76
5.5	Etapa Ontológica	83
5.6	Aplicação das Sugestões na OntoBio ^R	85
5.7	Considerações Finais do Capítulo	87
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	89
6.1	Considerações Finais	89
6.2	Perspectivas Futuras	91
	REFERÊNCIAS	92
A	REESTRUTURAÇÃO DA ONTOBIO	98

A.1	Questões de Domínio	98
A.2	Resultado da Reestruturação	106
B	HEURÍSTICAS	115
C	DICIONÁRIO SEMÂNTICO	122
C.1	Ambiente de Áreas Úmidas	122
C.2	Aquisição	122
C.3	Área Protegida	122
C.4	Bioma	123
C.5	Classificação Taxonômica	123
C.6	Características Bióticas	123
C.7	Coleção	124
C.8	Condição do Tempo	124
C.9	Condição Climática	124
C.10	Divisão Administrativa de Primeira Ordem	125
C.11	Divisão Administrativa de Segunda Ordem	125
C.12	Divisão Administrativa de Terceira Ordem	125
C.13	Ecosistema	125
C.14	Espaço Geográfico	126
C.15	Fases da Lua	126
C.16	Fatores Abióticos	126
C.17	Instituição Científica	127
C.18	Organismo	127
C.19	País	127
C.20	Preservação Permanente	128
C.21	Reservas Legais	128
C.22	Species	129
C.23	Terra Indígena	129
C.24	Unidade de Conservação	129
C.25	Vegetação	130
D	MAPEAMENTOS DAS SUGESTÕES – ETAPA HEURÍSTICA	131
D.1	M-H001	131
E	MAPEAMENTO DAS SUGESTÕES – ETAPA ONTOLÓGICA	141
F	CONJUNTOS DE DADOS PARA O PROCESSO DE SUGES- TÕES DE MUDANÇAS	143
F.1	OntoStruct	143
F.2	Lista de Equivalência	146

F.3	Lista de Denominação Popular	146
G	MODELOS ONTOLÓGICOS	148
G.1	OntoBio	148
G.2	OntoBio^R	148
G.3	OntoBio^R Evoluída	149

1 Introdução

Neste capítulo são apresentados o contexto e a descrição do problema central da pesquisa e as questões motivadoras da investigação. São também apresentados os objetivos e a organização deste documento.

1.1 Contextualização

O conhecimento pode ser visto em uma escala de sentimento e razão Figura 1, onde o conhecimento ideológico corresponde ao critério de verdade do próprio indivíduo, ou seja a sua própria ideia, sendo algo não racional e sim assimétrico. O conhecimento religioso se encontra em um nível sistêmico, onde tudo pode ser explicado de acordo com o conhecimento inspiracional, no sentido de admitir o princípio de contradição e não admitir dúvidas. O conhecimento filosófico corresponde a conceitos formados a partir da reflexão sobre a realidade, trabalhando com especulação e reflexão, onde a partir da reflexão de um objeto, é criado sua imagem mais profunda. Por último o conhecimento científico que necessita de uma verificação seguindo alguns critérios de cientificidade, tais como: coerência, consistência, originalidade e objetividade (VIEGAS, 1999).

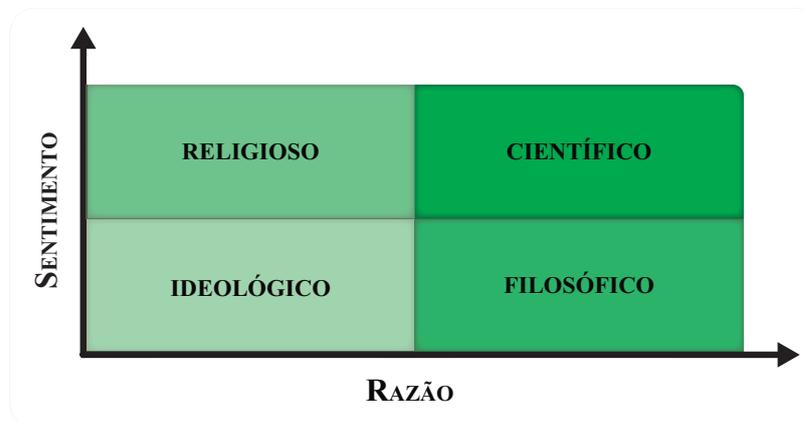


Figura 1 – Escala do conhecimento (VIEGAS, 1999).

Gradativamente, a escolha de um conteúdo e sua representação em uma Base de Conhecimento (BC), se tornam uma tarefa importante na área de Representação do Conhecimento. (RC). A BC contém fatos, ideias, relacionamentos e interações em um determinado domínio. Segundo (RUSSEL, 2013), RC representa o estudo de como colocar o conhecimento em uma forma que um computador possa utilizar.

Há na literatura dois paradigmas que compõem basicamente as diferentes formas de raciocínio e representação do conhecimento, são elas: simbólica e não simbólica, ou sim-

bólica e conexionista. O paradigma simbólico implica na RC por sentenças declarativas (símbolos) e suas consequências deduzidas por meio de raciocínio lógico. Já a abordagem não-simbólica ou conexionista¹, tem por objetivo investigar a possibilidade de simulação de comportamentos inteligentes através de modelos baseados na estrutura e funcionamento do cérebro humano (NORVIG; RUSSELL, 2014).

Independente da abordagem para a RC, nota-se que a abordagem que faz uso de raciocinadores semânticos em modelos ontológicos exige um alto poder de processamento. Isso porque a utilização intensa do conhecimento torna difícil o desempenho do computador. Tarefas entre conceitos, tais como: extração, relacionamento, realização de deduções e generalizações praticamente não são realizáveis pela máquina. O motivo se encontra no uso de ontologias formais que se utilizam de ontologias de fundamentação como suas *Upper Ontology*. Esta última obtém sua formalização através da utilização de vários tipos de lógicas, como a lógica modal.²

A factibilidade nesse caso, está relacionada com a generalidade do domínio: a restrição do domínio reduz a complexidade do problema. Existem várias formas de como o conteúdo vai estar representado em uma base de conhecimento, para isso alguns instrumentos organizadores podem ser utilizados, tais como: Lógica; Redes Semânticas; *Frames*; *Scripts*; Regras de Produção; Ontologias, entre outros.

Independente da forma de RC, um dos maiores gargalos na área é conseguir implementar com riqueza de semântica e inferência um modelo fortemente expressivo (GUIZZARDI, 2005), além de axiomatizá-lo mantendo a escalabilidade e expressividade. Com isso, chega-se a um questionamento: como garantir que esta representação tenha expressividade semântica para representar o conhecimento de um domínio específico? Nesse aspecto as ontologias são de particular interesse para organizar, estruturar e assim representar o conhecimento.

Atualmente ontologias vêm sendo utilizadas para representação de conhecimento em diversas áreas, tais como:

1. Biodiversidade – OntoBio (ALBUQUERQUE; SANTOS; CASTRO, 2015) e SEKK (MICHENER et al., 2012);
2. Genética – *Gene Ontology* (GO) (ASHBURNER et al., 2000);
3. Representação de Domínio – NEMo (CARMO; SOARES; CASANOVA, 2013);
4. Projeto de Monitoramento e Controle (PMC) (CARVALHO, 2006); e

¹ Outros nomes utilizados para o domínio são: Redes Neurais (ou Neurais), Processamento Distribuído Paralelo (PDP), Redes Adaptativas e Computação Coletiva.

² A lógica modal é o estudo das proposições modais e as relações lógicas que suportam um ao outro. As proposições modais mais conhecidas são proposições sobre o que é necessariamente o caso e o que é possivelmente o caso. Os operadores: é possível, e é necessário, são chamados de operadores "modais", uma vez que especificam um modo ou maneira de como o resto da proposta pode ser dita para ser tornar verdade (ZALTA, 1988).

5. *Capability Maturity Model – Integration* (CMMI) (LEE et al., 2006).

Tais trabalhos envolvem diferentes propósitos, tanto para representar expressividade (em alto nível), com uma semântica rica em conhecimentos de um determinado domínio, como a interoperabilidade entre diversas bases de dados. Vale ressaltar que o trabalho recente de (MEZGHANI; EXPOSITO; DRIRA, 2016) utiliza o conhecimento tácito³ como fonte para geração de ontologia.

O uso de ontologias formais baseadas em linguagens de fundamentação formal como *Unified Foundational Ontology* (UFO) (GUIZZARDI, 2005) para RC é bastante disseminado na comunidade científica, a exemplo das áreas:

1. Eletrocardiologia (GONÇALVES; ZAMBORLINI; GUIZZARDI, 2009);
2. Exploração e Produção de Petróleo (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008); e
3. Biodiversidade (ALBUQUERQUE, 2011).

Isso possibilita um enriquecimento semântico no desenvolvimento do modelo conceitual, agregando poder de expressividade na sua base ontológica. Do ponto de vista computacional, para que um modelo conceitual seja utilizado, é necessária uma linguagem processável por máquina que consiga captar a semântica do modelo e expressá-la ao nível de compreensão da máquina. Ontologias formais tratam, por exemplo, problemas de ambiguidade, inconsistência e verificação na semântica de um modelo, podendo ser realizado através de axiomas. Segundo (GUARINO, 1998), axiomas são meios de restringir o significado dos termos: aceitam-se algumas interpretações e rejeitam-se outras. Dessa forma a semântica de cada termo é definida explicitamente e sem ambiguidades.

Assim, a utilização de mecanismos formais para a construção de uma ontologia possibilita o seu enriquecimento semântico. A Figura 2 que tem como base o estudo de (ALMEIDA; SOUZA; FONSECA, 2011), destaca de uma forma não consensual, a distribuição e formalismo entre instrumentos de RC. As técnicas utilizadas se encontram em variações de níveis de formalismo, desde informal como *XML Schema*, até o mais formal com a UFO. Algumas abordagens se encontram entre o limiar de formalidade, como é o caso da *Web Ontology Language* (OWL).

Além do formalismo existente nas linguagens, outro fator importante é a sua expressividade. Na literatura várias abordagens com diferentes níveis de expressividade foram utilizadas para representar a semântica da linguagem natural. A Figura 3 corresponde a um espectro de uma escala referente ao poder de expressividade de diversas abordagens e de acordo com a posição na escala, o elemento pode possuir semântica mais forte ou fraca.

³ 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. (ALBUQUERQUE, 2014).

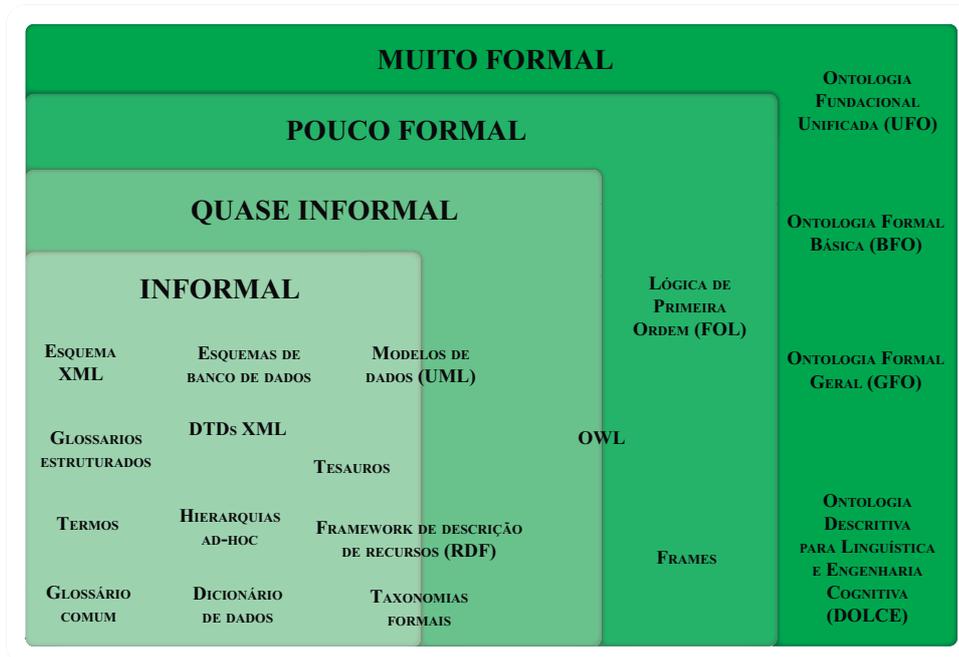


Figura 2 – Instrumento de RC.

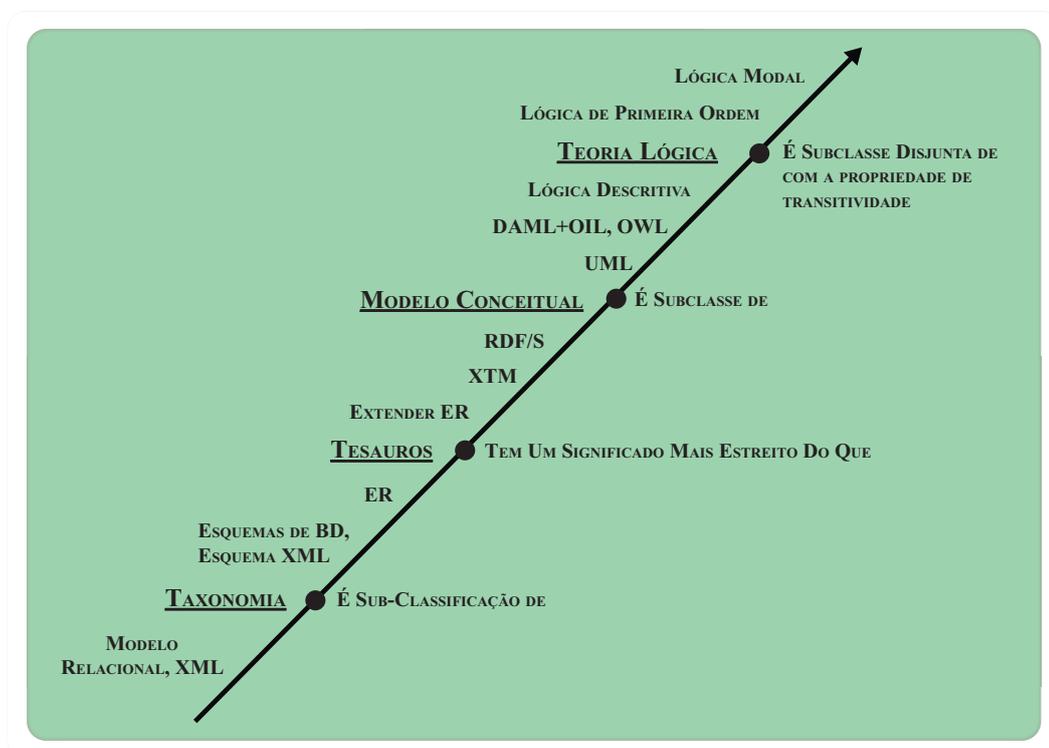


Figura 3 – O espectro em análise (ALMEIDA; SOUZA; FONSECA, 2011).

O poder de expressividade é fundamental para a representação de uma determinada realidade, pois possibilita por exemplo, a interpretação de aspectos temporais. Um exemplo de tais aspectos seria a representação de um encontro entre dois indivíduos. Além disso, a expressividade em uma linguagem permite a criação de axiomas e regras de restrições específicas para domínios complexos, como o de classificação taxonômica, por exemplo.

Vale ressaltar que os instrumentos apresentados no espectro da Figura 3 não correspondem a todo universo de instrumentos existentes na literatura, porém abrange uma gama significativa de instrumentos existentes, demonstrando uma noção da análise do poder de expressividade destes instrumentos.

Apesar de existirem diversas abordagens para tratar níveis de representação semântica de um domínio, como mostrado na Figura 2, o problema de conseguir implementar a riqueza semântica capturada de um determinado domínio é um desafio, pois necessita-se tanto de componentes tecnológicos para sua implementação (compiladores⁴), como modelos filosoficamente bem fundamentados capazes de conseguir capturar a semântica e fazer sua representação em um esquema. Neste contexto, a utilização de ontologias se torna bem ativa, sendo tratada como codificação eficiente do conhecimento humano. Contudo, ainda há uma questão fundamental a ser analisada: a manutenção adequada destas ontologias. Nesse aspecto (FLOURIS; PLEXOUSAKIS; ANTONIOU, 2006) destaca que a adaptação de uma ontologia a novos conhecimentos é um dos problemas mais desafiadores na atual pesquisa em Web Semântica⁵.

A investigação aqui descrita usa como objeto de estudo a OntoBio, uma ontologia para biodiversidade, e contempla a utilização de modelos mentais de especialistas como fonte de conhecimento para estabelecer uma estratégia de gestão de mudanças, através de uma abordagem metodológica de evolução de ontologias. A estratégia objetiva estabelecer a detecção de mudanças em ontologias, além de estipular a semântica destas mudanças com perspectiva de ajudar a ontologia se tornar uma estrutura não obsoleta e que contemple mais cenários reais com informações semânticas do domínio que representa.

1.2 Motivação e Justificativa

Ao longo dos anos o desenvolvimento de ontologias se tornou um processo colaborativo e dinâmico, principalmente pelo uso cada vez mais intenso de ontologias na web semântica (FLOURIS et al., 2008). Sua aceitação como parte integrante de aplicações em diversos cenários e domínios tem aumentado de maneira constante. Conforme descrito em (KHATTAK et al., 2013), Serviços Web Semânticos, Motores de Busca Sensíveis ao Contexto,

⁴ Programa que lê um programa em uma linguagem fonte e o traduz para um programa equivalente em uma linguagem objeto (PRICE; TOSCANI, 2000).

⁵ <<http://www.w3c.br/Padroes/WebSemantica>>.

Programas de Agentes, e Grade Semântica usam ontologias para as suas necessidades personalizadas.

Outro fator apontado como justificativa para esse crescimento é o aumento da importância do intercâmbio de conhecimento. Segundo (FLOURIS et al., 2008), muitas aplicações industriais e acadêmicas adotaram ontologias como sua estrutura conceitual, crescendo a importância na sua manutenção. Isso possibilita o surgimento de novos cenários, como por exemplo, abordagens para tratar validação, manutenção e evolução de ontologias.

O desenvolvimento e manutenção de uma ontologia é uma tarefa complexa e multifacetada, envolvendo diversas áreas de pesquisa, tais como: engenharia, evolução, controle de versão, fusão, integração, e manutenção de ontologias (KHATTAK et al., 2009b).

1.2.1 Porque é Importante Realizar a Manutenção de Ontologias

O aumento significativo do uso de ontologias proporciona também o aumento na preocupação em sua manutenção e conseqüentemente o surgimento de diversos cenários propícios para a alteração das mesmas. Um desses cenários é a evolução de ontologias, que consiste em tornar uma ontologia de um estado consistente para outro por meio da atualização (adição, remoção ou atualização) dos conceitos, de suas propriedades, relações associadas, ou instancias de conceitos (MESSAOUD; LERAY; AMOR, 2014).

Existem várias razões para realizar contínuas mudanças em uma ontologia. Estas mudanças podem possibilitar melhores inferências, uma representação semântica mais rica e uma melhor aceitação pela comunidade que utiliza tal ontologia. Alguns cenários são observados para análise dos variados motivos que originam mudança numa ontologia, dentre eles:

1. **Mudança no domínio:** Quando ocorrem alterações na composição ou na relação entre os elementos do domínio. Por exemplo, o domínio β representa a classificação taxonômica dos animais, abrangendo uma quantidade η de espécies. Após estudos, observou-se que alguns fatores naturais desencadearam o surgimento de novas espécies, aumentando a quantidade de espécies existentes no domínio em questão. Portanto estes novos elementos devem ser incorporados ao domínio. Tal mudança gera o domínio $\beta = \eta + \kappa$, onde κ corresponde aos novos elementos percebidos;
2. **Informação oriunda de fonte externa:** Quando novas informações podem se tornar recursos disponíveis. Existem domínios onde nem todos os dados com relevância para pesquisas estão acessíveis e tal fato reduz a capacidade de representação do domínio. Por exemplo, o nicho de dados comportamentais de um grupo taxonômico, pode ser disponibilizado pelo pesquisador ou/e pela instituição responsável;
3. **Mudança na perspectiva do domínio:** Quando existem diversas formas de ana-

lisar um domínio. Por exemplo, ao se modelar o domínio de biodiversidade pode ser considerada a perspectiva de climas e ambientes no âmbito nacional. Se esta perspectiva for alterada para o âmbito global o modelo necessitará de alterações para contemplar informações da nova perspectiva. Assim como o caso onde o entendimento sobre um determinado domínio muda, como por exemplo, especialistas em taxonomia aderirem a uma classificação taxonômica antes não aceita para basear processos evolutivos de determinada espécie.

4. **Falha de design na conceituação original:** Problemas na conceitualização do domínio podem existir afetando a construção da ontologia, tais falhas podem ser tanto por falta de mapeamento no modelo, como também utilização errônea de algum padrão de modelagem. Por exemplo, utilizar o *Kind Pattern*⁶ para modelar o conceito **Estágio de Vida**, quando na verdade deveria se usar *Mode Pattern*⁷. Isso ocorre porque o conceito **Estágio de Vida** corresponde a uma característica que é inerente a outro conceito, como **Pessoa** ou **Animal**;
5. **Adaptação de necessidades e perspectivas dos usuários:** É comum a utilização de ontologias para servir de base de consultas para aplicações, como por exemplo o software Siri⁸, o portal G1⁹, entre outros. Nestes casos, normalmente existe necessidade de incorporação de novas funcionalidades na aplicação, o que pode levar a alterações na ontologia. Por exemplo, a ontologia de biodiversidade Ontobio é utilizada por um grupo de pesquisa da Universidade de São Paulo (USP)¹⁰ para realizar pesquisas com integração semântica de dados de biodiversidade. Para satisfazer algumas necessidades de requisitos da aplicação utilizada pelo grupo, foi solicitado que a Ontobio conseguisse representar locais que não possuem localização exata e sim descrições disponibilizadas pelos biólogos, tais como: próximo ao Rio Negro; entre a Reserva Biológica κ e o Parque Nacional α , ou seja, a forma de referência é através de pontos relativos. Esse tipo de mapeamento é importante para as inferências da aplicação desenvolvida pelo grupo, mas não necessariamente as informações já estavam representadas na Ontobio;

6. **Dependências formadas em torno de uma ontologia:** A natureza distribuída

⁶ Uma classe UML estereotipada com «Kind» é utilizada para representar uma categoria ontológica que fornece um princípio de identidade. Kinds são tipos rígidos. Exemplos: espécies naturais (como Pessoa, Cão e Árvore) e artefatos (como Cadeira, Carro e Televisão) (GUIZZARDI, 2005)

⁷ Uma classe UML estereotipada com «Mode» é utilizada para representar propriedades que não possuem representação em um sistema de medida. Podem ser conceituados em termos de múltiplas dimensões de qualidades separáveis. Exemplos: Crenças, Desejos, Intenções, Percepções, Sintomas, Habilidades, entre muitos outros; Dor de cabeça de João; (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008).

⁸ Aplicativo que utiliza ontologias e processamento de linguagem natural para responder perguntas, fazer recomendações, e executar ações (CHEYER; GRUBER, 2010). <<http://www.apple.com/siri>>.

⁹ Portal de notícias da Globo. <<http://www.g1.com.br>>. <http://www.inf.ufrgs.br/ontobras-most2011/arquivos/apresentacoes/GLOBO_Ontobras2011.pdf>.

¹⁰ <<http://www.intermidia.icmc.usp.br>>.

da Web Semântica implica que o engenheiro de conhecimento e o especialista do domínio, não tem controle sobre ontologias dependentes. Se qualquer uma destas ontologias dependentes mudar, a ontologia local também poderá precisar de modificação;

7. **Um serviço ou aplicação não compreende a ontologia modificada:** Após a ontologia sofrer alterações, é necessário que os serviços e/ou aplicações que a utilizem estejam no mesmo nível de interpretação de dados que a ontologia; e
8. **Mudança na especificação da linguagem de representação:** O engenheiro de ontologia pode precisar realizar alterações na especificação do modelo, ou seja, na linguagem de representação da ontologia ou na linguagem de representação de regras de inferências.

Os argumentos previamente citados indicam a importância a respeito de mudanças em ontologias, fato que motiva esta investigação em torno deste campo de estudo, além de ajudar na criação de resultados nesta área de conhecimento.

Na literatura existem linhas de pesquisa distintas para tratar a complexidade na mudança de ontologias, além de prover um arsenal de fundamentação teórica concreto suficiente para ser base de estudos futuros. Alguns trabalhos, por trazerem resultados para o desenvolvimento de soluções no campo de evolução de ontologias, foram selecionados para serem detalhados no Capítulo 3.

Trabalhar com questões de pesquisa sobre evolução de ontologias pode levar a abordagens com técnicas completamente diferentes, desde trabalhos que utilizam uma direção voltada em técnicas aplicadas no campo de revisão de crenças para então utilizá-las no campo de evolução de ontologias, tratando a evolução de ontologias como um caso especial do problema mais geral de mudança de crenças (FLOURIS; PLEXOUSAKIS; ANTONIOU, 2006), até trabalhos que utilizam relações causais para enriquecer a ontologia (MESSAOUD; LERAY; AMOR, 2014). Informações mais detalhadas são exploradas no capítulo 3.

Sistemas de bases ontológicas precisam ter informações precisas e completas. Em seu trabalho, (FLOURIS et al., 2008) destaca que há uma necessidade em manter a ontologia atualizável para acomodar todas as novas mudanças que contribuem para sua evolução. Ontologias evoluem de acordo com o conhecimento do(s) desenvolvedor(es) e suas formas de conseguir representar a realidade percebida. Na Figura 4 é possível perceber como entrada uma ontologia O_1 e como saída uma ontologia O_2 gerando assim uma mudança no estado da ontologia em resposta a alterações solicitadas.

A estratégia utilizada nesta investigação envolve questões relacionadas a evolução de ontologias formais de domínio, envolvendo técnicas de Inteligência Artificial (IA), como aquisição de conhecimento e RC, além do desenvolvimento de heurísticas com objetivo

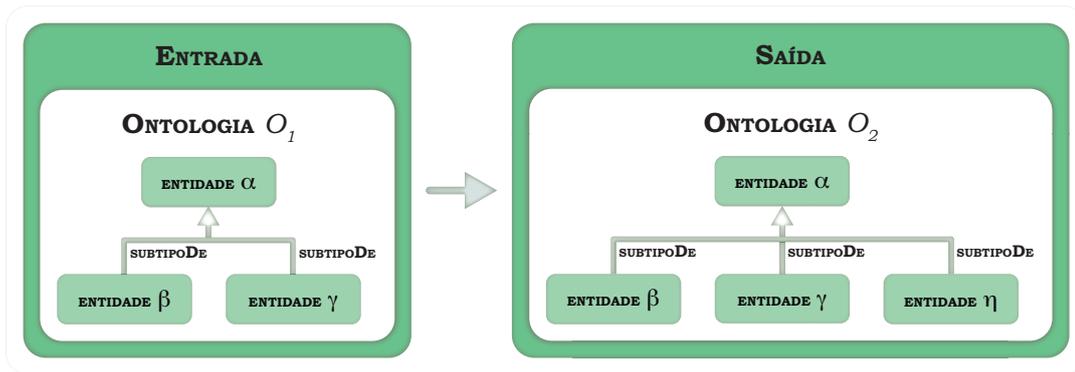


Figura 4 – Mudança de ontologias.

de analisar e criar sugestões de mudança como estratégia de evolução para a ontologia evoluir. A Figura 5 representa uma visão geral do problema, os elementos criados para compor sua solução e a contribuição desenvolvida nesta investigação.

Inicialmente o problema está em capturar o conhecimento que se encontra no modelo mental dos especialistas no domínio e posteriormente conseguir inseri-los em uma ontologia formal com objetivo de evoluir esta estrutura ontológica. A partir destes conhecimentos, oriundos dos modelos mentais dos especialistas, desenvolveu-se os elementos que compõem a solução. Existe um arcabouço conceitual que está sendo desenvolvido em um projeto de doutorado com o objetivo de formalizar e elicitar o conhecimento do tácito do especialista de biodiversidade, tal arcabouço possui 5 etapas, e na 4 etapa se encontra esta investigação que tem o objetivo de desenvolver uma estratégia para evolução de ontologias. Logo, alguns elementos são definidos para conseguir alcançar tal objetivo, tais como: um dicionário semântico (DS), etapa heurística e ontológica, entre outros. Todos estes elementos são explicados detalhadamente no decorrer desta investigação. Com relação a contribuição desta investigação, é possível destacar o desenvolvimento de uma estratégia para evolução de ontologias formais de domínio, a qual visa gerar sugestões de mudança baseadas no conhecimento tácito especialista de domínio.

O trabalho de (STOJANOVIC, 2004) é utilizado como base nesta investigação que visa gerar sugestões de mudança para que o engenheiro de ontologias e especialista no domínio validem posteriormente. A estratégia pode ser utilizada em outros domínios. Para isso, basta que os componentes sejam adaptados com informações específicas do domínio a ser representado.

1.3 Questões de Pesquisa

Esta investigação, com foco na gestão do conhecimento científico, tem como propósito prover uma estratégia para evolução de ontologias, a partir da estipulação de sugestões de mudança. A estratégia aqui descrita faz uso de técnicas de IA como fonte principal para

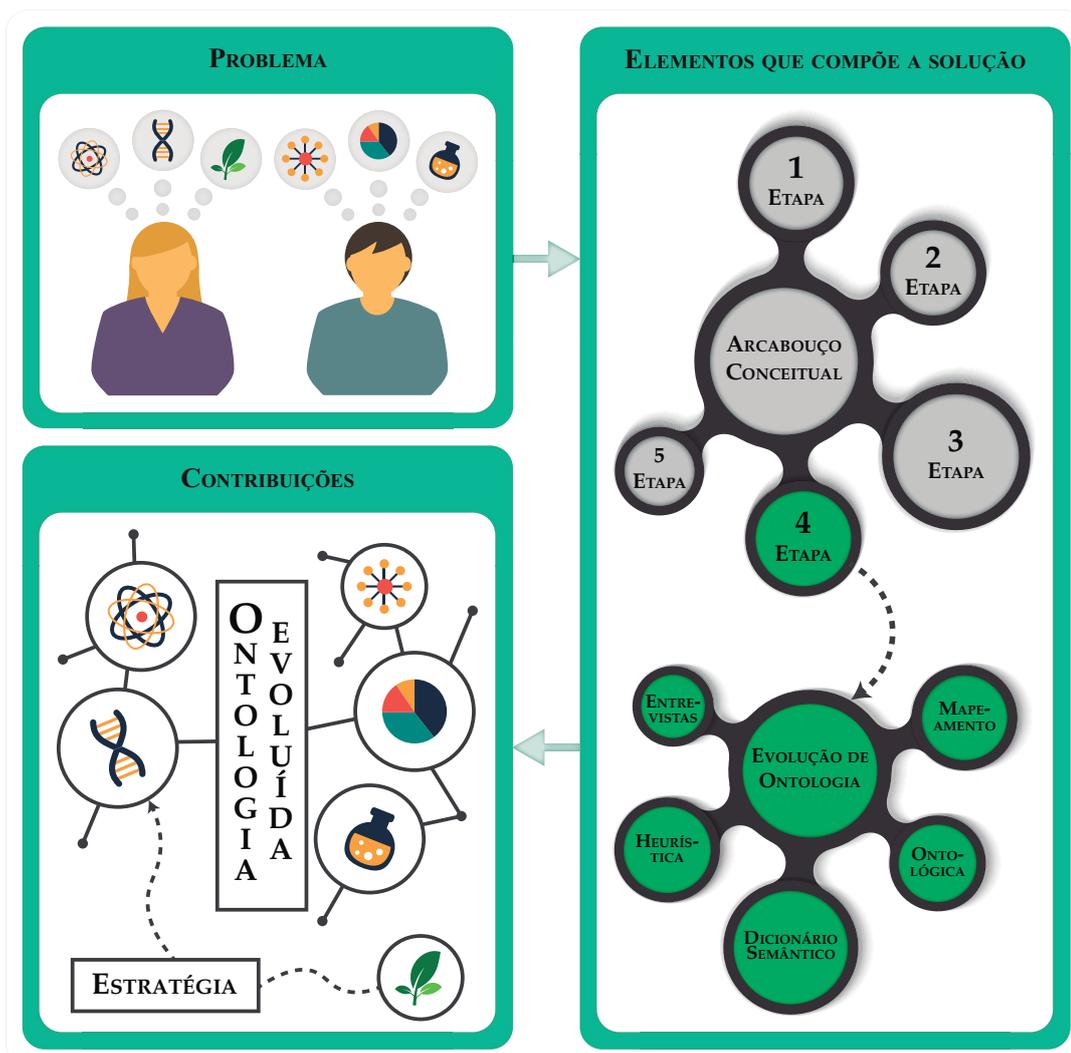


Figura 5 – Visão geral da investigação.

seu desenvolvimento. As questões de pesquisa consideradas foram definidas com base no seguinte contexto:

“Existe um projeto de doutorado (ALBUQUERQUE, 2014) que trabalha com o desenvolvimento de um arcabouço conceitual para elicitar e formalizar o conhecimento tácito do especialista, específico do domínio da biodiversidade, para que esse possa ser integrado à uma ontologia formal¹¹ de domínio. Esse projeto possui um modelo de Elicitação do Conhecimento (EC) com 5 etapas, conforme Figura 6. A partir do trabalho de Albuquerque, sob a perspectiva de ampliar a disponibilização de conhecimentos científicos e não científicos, esta investigação propõe uma estratégia para a gestão de mudanças em ontologias utilizando como base o trabalho de (STOJANOVIC, 2004). Utiliza também técnicas e elementos que possibilitam a criação semi-automática de sugestões de mudança, com o objetivo de criar uma alternativa de evolução para ontologias, utilizando como objeto de estudo a OntoBio.”

¹¹ Utiliza uma linguagem formal para representação da ontologia (GUARINO, 1998).

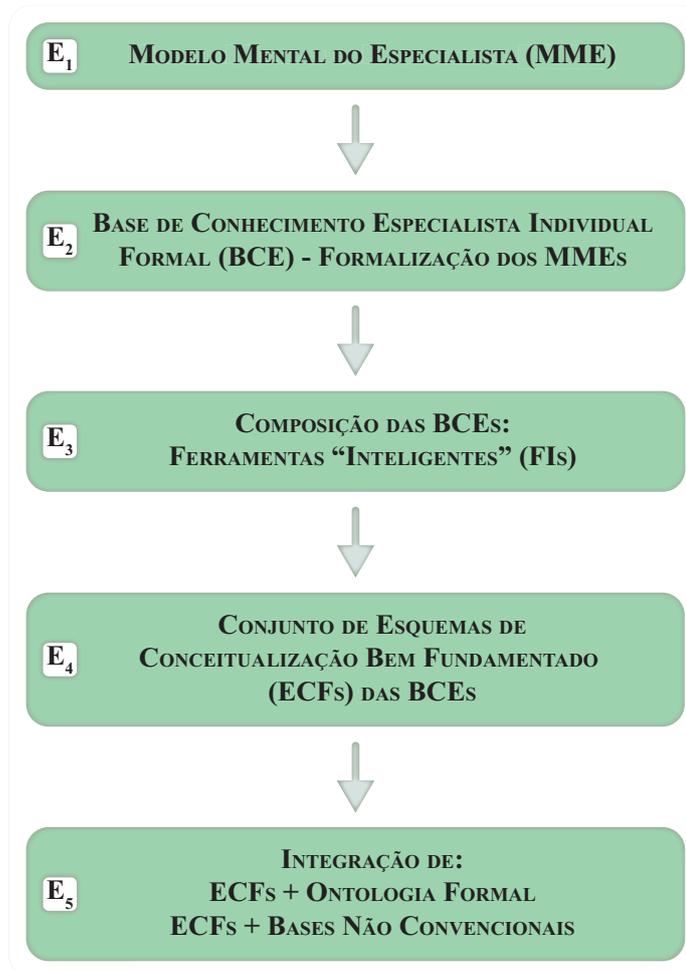


Figura 6 – Modelo proposto para elicitação do conhecimento (ALBUQUERQUE, 2014).

A seguir são apresentadas as questões de pesquisa identificadas:

1. Como identificar quando uma ontologia deve evoluir?
2. Como esquematizar as diferentes visões/observações de um mesmo cenário?
3. Como identificar o que é consenso em uma ontologia?
4. Como obter o conhecimento da comunidade/especialista, e explorar a ontologia frente a esse conhecimento com objetivo de evoluí-la?

1.4 Objetivo

Esta investigação tem como objetivo geral propor o desenvolvimento de uma estratégia para a evolução de ontologias formais, a partir do conhecimento tácito do especialista de domínio, além de gerar de forma semi-automática sugestões de mudança para a ontologia, assim como a semântica destas mudanças. Alcançar esse objetivo geral envolve buscar os seguintes objetivos específicos, utilizando a OntoBio como objeto de estudo.

1. Analisar e mapear a etapa de EC especialista;
2. Reestruturar a Ontobio;
3. Desenvolver um conjunto de heurísticas com base nas informações tácitas vindas de entrevistas com especialistas do domínio;
4. Desenvolver uma esquema de anotação/estruturação para dar suporte a escolha das sugestões de mudança na OntoBio;
5. Desenvolver um modelo para mapeamento das sugestões de mudança detectadas;
6. Estipular a semântica para as mudanças detectadas; e
7. Implementar as sugestões sugeridas e realizar uma análise quanto a coerência e consistência.

1.5 Método de Pesquisa

Esta investigação foi conduzida de acordo com os seguintes passos:

1. **Mapeamento e Análise da Elicitação do Conhecimento Especialista:** nesta etapa foi acompanhado o processo de EC especialista, desenvolvido no trabalho de (ALBUQUERQUE, 2014). Durante esta etapa, foram realizadas entrevistas com pesquisadores especialistas no domínio de biodiversidade. Todas as entrevistas foram gravadas para serem posteriormente transcritas e analisadas.
2. **Reestruturação da Ontologia para Biodiversidade – OntoBio^R:** nesta etapa a OntoBio foi reestruturada para ser utilizada pela estratégia aqui proposta. A reestruturação é um pré-requisito fundamental para o desenvolvimento de tal estratégia pelos seguintes motivos:
 - a) A instanciação de dados reais na ontologia é fundamental para análises realizadas nesta investigação, além de estabelecer um nível de funcionalidade e operacionalidade na ontologia.
 - b) É necessário trabalhar com uma estrutura ontológica que se adeque as informações reais dos cenários encontrados no domínio de biodiversidade. Dessa maneira, torna-se possível estabelecer heurísticas que se baseiam no conhecimento tácito do especialista, ou seja, em informações reais específicas do domínio.

O desenvolvimento desta etapa se divide em três subetapas, sendo estas:

- a) Conceitual: discussão ontológica dos cenários desenvolvidos na OntoBio inicial, mapeamento e modelagem em OntoUML¹² dos pontos necessários para sua reestruturação;

¹² <<http://www.menthor.net/ontouml.html>>

- b) Implementação: transformação do modelo conceitual para a linguagem OWL e instanciação das Classes e Propriedades; e
 - c) Teste: analisar a ontologia quanto a sintaxe e consistência.
3. **Processo Metodológico de Evolução de Ontologias Utilizado:** nesta etapa as informações obtidas a partir da revisão da literatura foram utilizadas para apoiar a escolha do processo de evolução de ontologia de referência. O trabalho desenvolvido por (STOJANOVIC, 2004) foi utilizado como base para o desenvolvimento da estratégia de evolução proposta nesta investigação. Durante esta etapa, o processo de evolução de referência foi adaptado de acordo com o desenvolvimento e objetivos específicos da proposta.
4. **Desenvolvimento da Estratégia de Evolução Proposta:** nesta etapa foi desenvolvida uma estratégia para evolução de ontologias, a partir da criação de sugestões de mudança. O desenvolvimento destas é dividido em duas etapas, sendo estas:
- a) Etapa Heurística: Criação de heurísticas baseadas no conhecimento oriundo das entrevistas com especialistas no domínio de biodiversidade. Nesta etapa as heurísticas foram implementadas com objetivo de possibilitar uma estratégia semi-automática para a evolução da ontologia; e
 - b) Etapa Ontológica: Análise ontológica entre os Modelos Mentais do Especialistas (MOEs) e a ontologia. Nesta etapa a criação das sugestões são realizadas de forma manual. Em seguida, foram definidos os componentes da estratégia e cada um deles foi detalhado.
5. **Mapeamento das Sugestões de Mudanças:** nesta etapa foi desenvolvido um modelo para mapeamento das sugestões de mudança, que serve para melhor compreensão das sugestões estipuladas. Durante esta etapa uma das principais fontes de conhecimento foi o trabalho desenvolvido por (JEDIDI, 2009).
6. **Implementação e Análises das Sugestões:** nesta etapa as sugestões de mudança são utilizadas na OntoBio^R. Para implementação dessas sugestões foi necessário inicialmente aplicá-las no modelo conceitual, em seguida transformar o modelo para a linguagem OWL e gerar as instâncias de Classes e Propriedades. Em seguida, após as sugestões serem implementadas, foram feitas análises sintáticas e semânticas na OntoBio^R. Os resultados foram utilizados como base para detecção de novas sugestões.

1.6 Contribuições

Contribuições científicas esperadas são enumeradas a seguir:

1. Desenvolvimento de uma estratégia de evolução de ontologia;

2. Restruturamento da OntoBio, visando um melhor nível operacional da estrutura;
3. Desenvolvimento de um Dicionário Semântico (DS) para a OntoBio de modo tal que sirva de base para outras análises ontológicas;
4. Desenvolvimento de heurísticas para detectar automaticamente sugestões de mudança para a OntoBio a partir de análises entre estruturas ontológicas;
5. Desenvolver um modelo de mapeamento para as sugestões de mudança; e
6. Aumentar a expressividade semântica da OntoBio.

1.7 Organização da Dissertação

Neste capítulo inicial foram apresentados os elementos centrais desta dissertação, através da descrição da contextualização, motivação e justificativas, questões de pesquisa, objetivos, método de pesquisa e contribuições científicas. Além desta introdução, este texto é composto pelos seguintes capítulos e apêndices:

Capítulo 2 (Ontologia e Evolução de Ontologias): apresenta os principais conceitos relacionados à IA, RC, ontologias e mudança de ontologia, a partir de uma investigação sistemática sobre ontologias e evolução de ontologias.

Capítulo 3 (Trabalhos Relacionados): apresenta a análise das abordagens e estratégias utilizadas para trabalhar com evolução de ontologias. São considerados trabalhos relacionados os que fazem referência a gestão de mudanças de ontologia, com foco em evolução de ontologia, estratégias e técnicas para propor evolução.

Capítulo 4 (Estratégia Para Evolução de Ontologias): apresenta a descrição da estratégia proposta para evolução de ontologias, utilizando como estudo de caso a ontologia OntoBio^R, assim como as especificações de todos os componentes pertencentes a estratégia.

Capítulo 5 (Implementação da Estratégia para Evolução de Ontologias): apresenta a descrição da implementação de todos os componentes que compõem a estratégia para evolução de ontologias proposta nesta investigação.

Capítulo 6 (Conclusões e Perspectivas Futuras): apresenta as considerações finais, contribuições e perspectivas futuras desta investigação.

Apêndice A (Reestruturação da OntoBio): apresenta todas as alterações, com justificativas, realizadas na OntoBio.

Apêndice B (Heurísticas): apresenta as heurísticas utilizadas na investigação.

Apêndice C (Dicionário Semântico): apresenta o padrão de anotação (em parte) utilizado para construção do DS.

Apêndice D (Mapeamento das Sugestões - Etapa Heurística): apresenta todos os mapeamentos realizados para as sugestões da etapa heurística.

Apêndice E (Mapeamento das Sugestões - Etapa Ontológica): apresenta todos os mapeamentos realizados para as sugestões da etapa ontológica.

Apêndice F (Conjuntos de Dados para o Processo de Sugestões de Mudanças): apresenta os conjuntos de dados que servem de base para as sugestões de mudança.

Apêndice G (Modelos Ontológicos): apresenta os três modelos ontológicos referentes a OntoBio, OntoBio^R e OntoBio^R evoluída.

2 Ontologia e Evolução de Ontologias

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados à IA, RC, ontologias e mudança em ontologia, a partir de uma investigação sistemática sobre ontologias e evolução de ontologias.

2.1 Introdução

Para a realização de mudanças em uma ontologia é necessário além de entender o domínio que a estrutura representa, mapear os requerimentos dessa mudança. Uma gestão durante todo o processo é fundamental para uma tomada de decisão no momento de sua propagação da mudança. Evolução de ontologia é a adaptação oportuna de uma ontologia à mudanças de requisitos e aplicações que usem como base uma ontologia.

O capítulo está estruturado em 8 seções além desta introdução. As seções 2.2 e 2.3 abordam IA e EC. A 2.4, aborda ontologias. As seções 2.5 e 2.6 tratam de mudanças de ontologias e evolução de ontologias. As seções 2.7 e 2.8 abordam informações de biodiversidade e ontologia para biodiversidade – OntoBio. Por fim, na 2.9 são realizadas as considerações finais do capítulo.

2.2 Conhecimento, Representação e Raciocínio

Segundo (NORVIG; RUSSELL, 2014) IA, é um campo que corresponde não só em perceber, compreender, prever e manipular um mundo mas também construir entidades inteligentes. IA teve seu nascimento através de uma proposta¹ criada em 1956 no seminário de dois meses em Dartmouth. Ao longo dos anos, várias definições de IA foram propostas, dentre elas:

1. A automação das atividades que associamos com o pensamento humano, atividades tais como: tomada de decisão, resolução de problemas, aprendizado... (BELLMAN, 1978);
2. A arte de criar máquinas que realizam funções que requerem inteligência quando realizados por humanos. (KURZWEIL, 1990);

¹ Esse foi o primeiro uso oficial do termo de McCarthy, IA. Talvez “racionalidade computacional” tivesse sido mais preciso e menos ameaçador, mas “IA” pegou. No 50º aniversário da conferência de Dartmouth, McCarthy declarou que resistiu aos termos “computador” ou “computacional” em deferência a Norbert Weiner, que estava promovendo dispositivos cibernéticos analógicos em vez de computadores digitais (NORVIG; RUSSELL, 2014).

3. O estudo das faculdades mentais através de modelos computacionais (CHARNIAK; MCDERMOTT, 1985); e
4. O ramo da ciência da computação que se ocupa da automatização do comportamento inteligente. (LUGER; STUBBLEFIELD, 1993).

IA lida com vários subcampos, do geral (aprendizagem, RC e percepção) até tarefas específicas como jogos de xadrez, demonstração de teoremas matemáticos, robótica, automação industrial, criação de poesia, direção de um carro em estrada movimentada, diagnóstico de doenças, processamento de linguagem natural, entre outros. (RUSSEL, 2013).

Dentre os subcampos citados, esta investigação aborda o subcampo de Representação do Conhecimento (RC), e a partir deste, trabalha com a Elicitação do Conhecimento (EC), ver seção 2.3.

Representação do conhecimento corresponde ao estudo de colocar o conhecimento em uma forma que o computador possa utilizar, ou seja, processável por máquina. Para isso necessita-se de linguagens de representação e raciocínio, como por exemplo, linguagens baseadas em lógica, como o Prolog². Para (ALBUQUERQUE, 2014), o papel da representação de conhecimento em IA é o de reduzir problemas de ação inteligente a problemas de busca. Pode ser definida como sendo o conjunto de sentenças em uma linguagem formal para a qual foram definidas semântica e um conjunto de regras de inferência capazes de gerar novas sentenças a partir das sentenças disponíveis. Em RC um domínio ou parte dele corresponde a expressar em uma base de conhecimento uma parte do mundo através de uma linguagem de RC. Para (RUSSEL, 2013), linguagens de RC devem ser: declarativas, composicionais, expressivas, independentes do contexto e não ambíguas.

Representar um conhecimento significa lidar com algumas dificuldades, como os cursos de ações. Um exemplo seria o protocolo de coleta de um indivíduo, que precisa de diversas etapas primitivas para poder realizá-lo. (RUSSEL, 2013) elucida que somente pela imposição de uma estrutura hierárquica sobre o comportamento, os seres humanos conseguiram lidar com todos os elementos que compõem sua realidade.

2.3 Elicitação do Conhecimento

Alguns autores, como Elizabeth Cordingley e Nancy Johnson (DIAPER, 1989), consideram a EC como um estágio do processo de aquisição de conhecimento, o que traz tanto vantagens como desvantagens. Segundo (ALBUQUERQUE, 2014), a EC é considerada

² Prolog é uma linguagem de programação que se enquadra no paradigma de Programação em Lógica Matemática. É uma linguagem de uso geral que é especialmente associada com a IA e linguística computacional. Consiste numa linguagem puramente lógica, que pode ser chamada de Prolog puro, e numa linguagem concreta, a qual acrescenta o Prolog puro com componentes extra-lógicos (BERGIN; GIBSON, 1996).

consistente com o paradigma da decomposição sucessiva de problemas difíceis em problemas solucionáveis, 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.

EC corresponde a um conjunto de atividades realizadas por uma pessoa, o elicitante de conhecimento. Ele é responsável por obter o material de alguma fonte relevante de seu interesse, em seguida analisar e interpretar o material, e por fim colocá-lo sob uma forma pré-codificada. O objetivo dessa pré-codificação é de tornar o conhecimento proveitoso para quem codificará na linguagem da BC e também para permitir ser verificado por todas as partes interessadas no desenvolvimento de SBC. 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 e a experiência pessoal do engenheiro do conhecimento (WATERMAN, 1986).

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; GIRARD; JONES, 1989).

Há uma variedade de técnicas utilizadas para obter conhecimento. O trabalho de (DIAPER, 1989) cita vários tipos de técnicas para EC, a partir de pessoas e outras fontes, tais como:

1. **Entrevistas:** é uma atividade bi-partide. A interação entre pessoas onde o elicitante é o entrevistador e a fonte de conhecimento humano é o entrevistado. Baseia-se em uma estratégia de perguntas e respostas;
2. **Discussão Dirigida:** atividade de elicitación semelhante a estratégia de pergunta e resposta da entrevista, no que diz respeito a designar relatórios verbais. É considerada como introspectiva. O provedor de conhecimento é questionado sobre o que pensa e imagina de alguma coisa de interesse do elicitante. Classificada como atividade tri-partide: o elicitante, o entrevistado e o mediador;
3. **Teach Back:** considerada primariamente como uma técnica de *feedback* e verificação, também pode ser efetivamente utilizada para obtenção de material novo. O processo envolve uma parte inversa na qual o elicitante ensina ao provedor de conhecimento alguns aspectos do conhecimento que tem sido elicitado. Esta técnica deve ser usada com o provedor nas subseqüentes sessões;
4. **Elicitação Construtiva:** baseia-se na Teoria Construtiva Pessoal (*Personal Construct Theory* (PCT));
5. **Escalonamento:** a técnica é disponível para geração de várias hierarquias de conceitos. Obtém-se conceitos superiores (Por que...?), conceitos subordinados (Como...?)

e conceitos no mesmo nível. Questiona-se sobre exemplos alternativos de determinado conceito;

6. **20 Questões:** utilizada por etnógrafos como técnica de pesquisa. Nela o elicitante seleciona um item de um conjunto conhecido pelo provedor. Este tenta determinar qual destes itens foi o selecionado pelo elicitante, através das respostas negativas ou positivas que o elicitante dará as suas questões. O provedor demonstrará seu conhecimento de forma mais adequada através das questões do que faria com respostas;
7. **Geração de Matriz:** úteis quando se necessita tabular informações. Nestas técnicas pode-se ter tabelas *two-way* (linhas e colunas) e *two-mode* (com lista de partes dos produtos como cabeçalhos para as linhas e lista dos produtos como cabeçalhos das colunas), e ainda tabelas *one-mode two-way* (matrizes cujos cabeçalhos das colunas e linhas são a mesma lista). Valores independentes ou valores de variáveis independentes são usualmente dados ao longo do eixo horizontal, enquanto variáveis dependentes são usualmente dados ao longo do eixo vertical;
8. **Julgamento:** discussão dos prós e contras da abordagem proposta para comparar com alternativas as quais podem ser razoáveis ou preferidas. É particularmente útil como técnica de elicitação em domínios onde não há somente um modo de realizar coisas;
9. **Protocolos:** tratando-se de EC, protocolos devem ser entendidos como registros externos usualmente em vídeo ou áudio, em tempo real ou retrospectivamente. Podemos ter protocolos de descrição padrão de uma tarefa, a tarefa como descrita, a realização da tarefa, o que foi dito durante a realização da tarefa, os artefatos que são utilizados. Existem quatro modos de geração de protocolos: pensamento alto, falando alto (relata conversas internas), redução comportamental (baseando-se em observações) e registro retrospectivo (relatando aspectos lembrados de uma atividade);
10. **Desempenho de papéis:** o provedor adota uma função e ordena uma situação na qual perícia é utilizada. No mínimo outra pessoa é necessária, alguém do domínio ou membro do grupo do elicitante. Pessoas devem discutir a situação e trabalhá-la de acordo ou individualmente sem saber o que outras pessoas tem dito; e
11. **Simulações:** similar à técnica anterior, exceto que o provedor é colocado numa situação tratada como se fosse real, embora sendo artificial. Utilizada amplamente na área de processamento de linguagem natural.

Segundo (TUTHILL, 1990), a entrevista é um consenso entre os autores como um dos métodos mais usados. Embora sendo a mais comum, nem sempre é o primeiro, último ou melhor método de aprendizado das técnicas e regras heurísticas do domínio. Esta investigação acompanhou o processo de elicitação do conhecimento de pesquisadores de

biodiversidade a partir da técnica de entrevista semi-estruturada que se adequou melhor ao domínio em questão, visto que é uma forma de estimular os especialistas a disponibilizarem suas experiências, ou seja, seus modelos mentais sobre o domínio em questão. Tal entrevista serve como roteiro para conduzir o processo de eliciação do conhecimento, elencando questões que servem de base para esse processo, tais como:

1. **Tem algum tipo de observação que você considera importante no processo da coleta?**
2. **Algum fator ambiental pode causar deformidade no peixe?**

2.4 Ontologias

O estudo sobre ontologias vem desde a época de Aristóteles, quando ele tinha por objetivo distinguir o estudo do ser (GUIZZARDI, 2005). De acordo com (ZAMBORLINI, 2011) ontologia historicamente é:

uma palavra de origem latina cujo significado pode ser entendido como “o estudo da existência”. Etimologicamente, *ont* vem do particípio presente do verbo grego *enai*, que significa “ser”, e *logia* em latim, que significa estudo. Como a “ciência do ser enquanto ser”, seu estudo remete a Aristóteles, no século IV a.C., embora o termo tenha sido cunhado apenas no século XVII no meio filosófico. Desde então tem sido usado na filosofia para designar tanto uma disciplina – utilizando-se o termo com “O” maiúsculo – quanto um sistema de categorias independente de linguagem apropriado para conceituação de teorias científicas.

Para (SOWA, 1999) o termo tradicional relacionado a ontologia é a palavra “categoria”, utilizada para designar o ato de classificar e caracterizar alguma coisa. Uma proposta de utilização de ontologias é definida por (GUARINO, 1998), onde ele afirma que ontologias são usadas para diversos fins, variando do apoio aos processos de desenvolvimento de software ou qualquer outra atividade executada por equipes geograficamente distribuídas, ao apoio em tempo de execução aos sistemas de informação.

Na área de Ciência da Computação, uma ontologia é definida como a especificação explícita e formal de um conceito compartilhado (GRUBER, 1993). A ontologia possui diversas definições entre os pesquisadores desta área de conhecimento, e sua definição possui diversos contextos.

A utilização de ontologias torna possível a captura de um elevado grau semântico de um domínio, através do desenvolvimento de primitivas de RC. Possibilita também a

habilitação de máquinas para processar mesmo que com restrições³, os diversos tipos de relacionamentos e propriedades entre os conceitos de um domínio.

2.4.1 Componentes de uma Ontologia

A composição comum de uma ontologia é proposta segundo (GRUBER, 1993) da seguinte maneira:

1. **Indivíduos:** instâncias ou objetos (o básico ou “objetos base”). Os indivíduos em uma ontologia podem incluir objetos concretos como pessoas, animais, mesas, automóveis, moléculas, planetas, bem como indivíduos abstratos como números e palavras (embora existam diferenças de opinião quanto à classificação de números e palavras: se classes ou indivíduos). Uma ontologia não precisa incluir indivíduos, mas um dos propósitos gerais de uma ontologia é o de classificar indivíduos, mesmo que estes indivíduos não sejam explicitamente parte da ontologia;
2. **Classes:** conjuntos, coleções, conceitos, classes de programação, tipos de objeto ou tipos de coisa. Ex: Pessoa que pode ser um homem ou mulher;
3. **Atributos:** aspectos, propriedades, recursos, características ou parâmetros que os objetos (e classes) podem ter. Ex: Idade, peso, altura que uma pessoa pode ter;
4. **Relações:** formas nas quais classes e indivíduos se relacionam entre si. Ex: Relacionamento entre Órgãos e Flora. Um Órgão pertence a um exemplar específico de Flora;
5. **Termos de Função:** estruturas complexas formadas a partir de relações que podem ser usadas no lugar de um termo individual em uma declaração;
6. **Restrições:** descrições formalmente declaradas do que deve ser verdadeiro para que alguma declaração possa ser aceita como entrada. Ex: Toda coleta precisa de uma licença de coleta;
7. **Regras:** declarações na forma de uma sentença se-então (antecedente-consequente) que descrevem as inferências lógicas que podem ser extraídas a partir de uma declaração em uma forma particular. Ex: Se o Pesquisador estiver em área de mangue, nos dias de chuva e procurar dentro de raízes altas então a probabilidade de encontrar aranha é alta.
8. **Axiomas:** assertivas (incluindo as regras) em uma forma lógica, que juntas compõem a teoria geral descrita pela ontologia em seu domínio de aplicação. Aqui, “axiomas” também incluem a teoria derivada de declarações axiomática. Ex: Família no reino animal pode ser identificada a partir do sufixo IDEA.
9. **Eventos:** a mudança de atributos ou relações; e

³ Representação de níveis altos de expressividade, como a representação de *High Order* (ODELL, 1994).

10. **Vocabulário:** palavras ou grupo de palavras que podem ser encontrados no domínio da aplicação. Pode incluir: esquemas de vocabulário controlado (obrigatória a utilização de termos autorizados pré-definidos, que foram pré-selecionados pelo projetista do vocabulário ou a comunidade do usuário, em contraste com vocabulários de linguagem natural, onde não há restrição no vocabulário); palavras-chave; área de proximidade (uma sintaxe que indica onde está o conhecimento desejado em um texto de acordo com uma semântica específica); dicionário; homógrafos, sinônimos e polissemia⁴, morfemas (prefixos, sufixos e radicais), etc. Este componente reduz a ambiguidade inerente à linguagem humana normal, onde ao mesmo conceito pode ser dado nomes diferentes e assegurar a coerência. Ex: O tipo de local em que um organismo é encontrado pode ser definido por algumas palavras-chave (público, do exército, privado, unidade de conservação, comunidade, assentamento, tribo, aldeia).

2.4.2 Características

Segundo (FALBO et al., 2004) algumas características da ontologia são importantes, dentre elas:

1. **Relacionado aos fatos da realidade:** objetos, entidades, vocabulário, termos, estrutura de um pedaço da realidade, metadados;
2. **Relacionado à semântica da realidade:** axiomas, sentenças, relações, regras ou restrições;
3. **Relacionado à modelo:** meta-modelo, abstração parcial da realidade, modelo conceitual;
4. **Aberta e dinâmica:** para adaptar-se a mudanças e aprimoramentos no domínio associado, uma ontologia de modo ideal deve ser aberta e dinâmica tanto estruturalmente como algorítmicamente (comportamento);
5. **Escalável e interoperável:** uma ontologia deve ser facilmente escalável para um amplo domínio e adaptável a novos requisitos. Deve ser possível integrar múltiplas ontologias em uma única, com soluções para o tratamento de taxonomias conceituais diferentes. Esta característica exige que a ontologia seja simples e clara;
6. **De fácil manutenção:** mesmo que uma ontologia atenda ao requisito de ser dinâmica, a sua manutenção deve ser fácil. Novamente, se sua definição é simples e clara, mais facilmente ela pode ser inspecionada por especialistas humanos;
7. **Semanticamente consistente:** a ontologia deve, obviamente, manter conceitos e relacionamentos coerentes; e

⁴ Palavra ou frase com múltiplos significados relacionados. Por exemplo “Deixei-os de boca aberta”, “A boca da garrafa está quebrada”.

8. **Independente de contexto:** uma ontologia não deve conter termos muito específicos em um dado contexto, quando esta lida com fontes de dados de larga escala. Isso dificulta a associação da semântica de cada fonte com os conceitos da ontologia e a integração de ontologias. Podemos notar que ontologias são especificações formais de universos de informações similares ou distintas utilizadas para compartilhar um entendimento único sobre o domínio em questão.

2.4.3 Classificação

Segundo (GUARINO, 1998), conforme apresentado na Figura 7, as ontologias podem ser classificadas como:

1. **Ontologia de nível superior:** Conceitos bem gerais de um domínio ou problema particular. De fácil utilização por outras ontologias. Por exemplo, espaço, tempo, objeto, assunto, ação e etc;
2. **Ontologia de domínio:** ontologia de tarefa, descreve um vocabulário para domínios genéricos (como Literatura ou Biociência) e para uma tarefa ou atividade genérica (como ler ou analisar). Estas ontologias abstraem conhecimento das ontologias de nível superior;
3. **Ontologia de aplicação:** Necessitam de domínios e tarefas específicas/particulares, torna-se uma especialização de domínio e tarefa. Responde a regras impostas pelos domínios quando executadas pelas tarefas; e
4. **Ontologias de tarefa:** Descrevem tarefas ou atividades genéricas, através da especialização de conceitos introduzidos nas ontologias de alto nível.

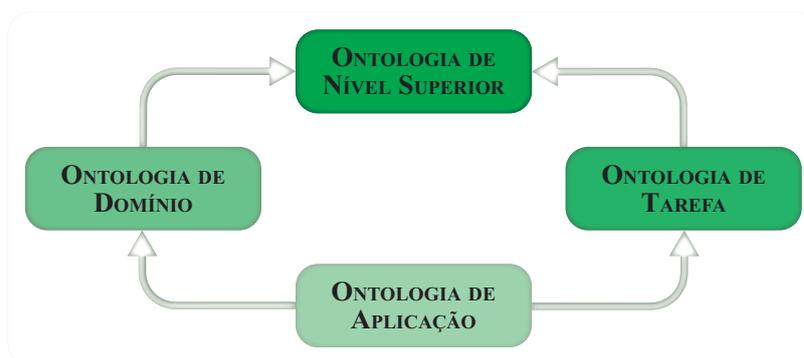


Figura 7 – Tipos de ontologias segundo nível de dependência (GUARINO, 1998).

2.4.4 Linguagens de Representação

Existem várias linguagens para representação de ontologias, visto que até mesmo uma linguagem não formal pode expressar uma ontologia, porém em nível diferente de uma

linguagem de representação formal⁵. Em seguida, são mostradas algumas linguagens para representação de ontologias (VALENTE, 1995).

1. **Lógica de Primeira Ordem (LPO):** é comumente usada por ser uma linguagem geral, bem conhecida e expressiva, e por adicionar relativamente poucos compromissos ontológicos. Uma ontologia expressa em lógica é a declaração de uma teoria lógica (RUSSEL, 2013);
2. **Knowledge Interchange Format (KIF):** é uma linguagem formal construída para trabalhar como um meio de comunicação de conhecimento entre bases construídas usando diferentes linguagens. KIF é basicamente uma notação prefixa para lógica de predicados de primeira ordem com termos funcionais e igualdade, em cima dos quais várias ontologias adicionais (de conjuntos, números, seqüências, etc.) foram construídas (GRUBER, 1992);
3. **Ontolingua:** é uma linguagem formal e um sistema projetado para o propósito específico de expressar ontologias (GRUBER, 1992);
4. **Conceptual Modelling Language (CML):** é uma linguagem semi-formal proposta como um formalismo de representação dentro de (BRACHMAN; SCHMOLZE, 1985); e
5. **Description Logic (DL):** é uma lógica projetada para expressar categorias e suas definições. Seus principais mecanismos de inferência visam verificar se uma categoria é um subconjunto de outra, ou se um objeto pertence a uma categoria (NORVIG; RUSSELL, 2014).

2.4.5 Critérios de Qualidade para Criação

Existem critérios de avaliação que são utilizados para orientação da qualidade de projetos de ontologia, fundamentados nos objetivos primordiais que a ontologia possui como propósitos de sua fundamentação filosófica, formal e cognitiva. Segundo (GRUBER, 1993) são definidos os seguintes critérios para avaliar a qualidade das ontologias:

1. **Clareza:** uma ontologia deve comunicar efetivamente o significado projetado dos termos definidos e, assim, suas definições devem ser objetivas. Onde for possível, uma definição completa é preferida em relação a uma definição parcial e todas as definições devem ser documentadas em linguagem natural, de modo a reforçar a clareza;
2. **Coerência:** uma ontologia deve ser coerente, isto é, deve comportar apenas inferências consistentes com as definições. Coerência deve ser observada, também, em

⁵ Ontologia Formal se refere a uma parte específica da disciplina filosófica de ontologia que lida com estruturas ontológicas formais, isto é, com aspectos formais de entidades independentemente da sua natureza particular (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008).

relação a conceitos definidos informalmente. Se uma sentença passível de ser inferida a partir dos axiomas da ontologia contradiz uma definição ou exemplo dado informalmente, então a ontologia é incoerente;

3. **Extensibilidade:** uma ontologia deve ser projetada para antecipar o uso do vocabulário compartilhado e, portanto, sua representação deve poder ser estendida e especializada. Em outras palavras, deve ser possível definir novos termos para usos especiais, com base no vocabulário existente, sem haver necessidade de rever definições existentes;
4. **Compromissos de codificação mínimos:** a conceituação deve ser especificada no nível de conhecimento sem depender de uma tecnologia particular de representação de conhecimento. Uma tendência de codificação surge quando escolhas de representação são feitas puramente para a conveniência de notação ou implementação. Assim, esta tendência deve ser minimizada, já que agentes compartilhando conhecimento podem ser implementados em diferentes sistemas e paradigmas de representação; e
5. **Compromissos ontológicos mínimos:** o conjunto de compromissos ontológicos de uma ontologia deve ser o menor possível, capaz de suportar as atividades planejadas de compartilhamento de conhecimento. Uma ontologia deve fazer tão poucas imposições quanto possível sobre o mundo que está sendo modelado, permitindo que as partes comprometidas com a ontologia fiquem livres para especializar e instanciar a ontologia na medida do necessário.

2.4.6 *Unified Foundational Ontology (UFO)*

Recentemente, algumas teorias foram propostas na área de ontologia Aplicada à Ciência da Computação com o nome de ontologias de Fundamentação que segundo (GUIZZARDI, 2005) são sistemas de categorias filosoficamente bem fundamentados e independentes de domínio que têm sido utilizados com sucesso para melhorar a qualidade de linguagens de modelagem e modelos conceituais.

UFO é dividida em três fragmentos denominados *Ontology of Endurants* (UFO-A), *Ontology of Perdurants* (UFO-B) e *Ontology of Social and Intentional Entities* (UFO-C). Sendo definidos da seguinte forma:

1. **UFO-A:** é o núcleo da UFO e define termos relacionados a aspectos estruturais como conceitos gerais de objetos, suas propriedades intrínsecas e relacionais, os tipos que eles instanciam, os papéis que eles desempenham, etc;
2. **UFO-B:** define, como incremento da UFO-A, termos relacionados a processos/eventos;
e

3. **UFO-C:** define, como incremento da UFO-B, termos relacionados à esfera de entidades intencionais e sociais, incluindo-se entidades linguísticas.

A UFO é dividida em vários fragmentos de níveis, o esquema da Figura 8 mostra que os conceitos do domínio são genericamente classificados pela categoria *Monadic Universal* da UFO, enquanto suas instâncias são classificadas pela categoria *Individual*.

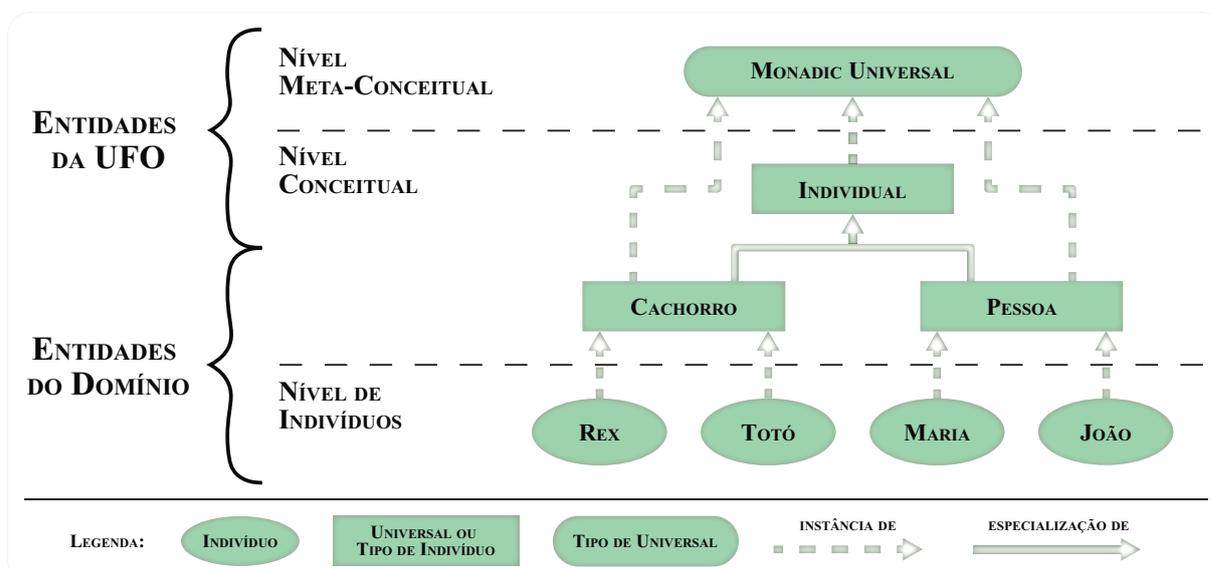


Figura 8 – Fragmento da UFO em esquema de níveis – Universais, Monádicos e Indivíduos (ZAMBORLINI, 2011).

2.4.7 Engenharia de Ontologia

Uma abordagem de Engenharia de Ontologia é proposta por (GUIZZARDI, 2007) e consiste de três fases: Análise, Projeto e Implementação. Tal abordagem propõem duas classes de linguagens que permitam produzir: 1- uma ontologia de referência de domínio, visando capturar de forma clara, com consistência e se ambiguidade os conceitos do domínio; 2- uma ontologia leve (*lightweight ontology*), para atender a requisitos computacionais. Esta abordagem segue o princípio da distinção clara entre Modelagem Conceitual, Projeto e Implementação.

Na fase de **Análise** utiliza-se uma linguagem de nível ontológico para criar a ontologia de referência de domínio, focada na adequação da representação, que pode ser usada por humanos em tarefas como comunicação, análise de domínio e significado dos da semântica dos conceitos e estabelecimento de consensos de diferentes formas de se entender o domínio. Vale lembrar que nesta investigação utilizou-se a UFO como linguagem de nível ontológico para reestruturar a ontologia de referência OntoBio. Após a conceitualização da ontologia de referência, a fase de **Implementação** utiliza linguagens de nível

lógico/epistemológico para criar ontologias leves. Isso é necessário para que tais ontologias possam ser processadas a nível computacional, ou seja, elas precisam ter propriedades computacionais satisfatórias para testes, por exemplo, de consistência e de ambiguidade semântica. A fase de **Projeto** serve para ligar a análise com a implementação de ontologias, levando em consideração, por exemplo, a diferença de expressividade entre as linguagens usadas nas outras fases. No trabalho de (ZAMBORLINI, 2011) é possível encontrar mais detalhes esta abordagem de Engenharia de Ontologia.

Um processo de desenvolvimento de ontologias envolve várias atividades, (FALBO; MENEZES; ROCHA, 1998) definiu em seu trabalho etapas do desenvolvimento de uma ontologia e suas interdependências, sendo estas:

1. **Identificação de Propósito e Especificação de Requisitos:** identificar claramente o seu propósito e os usos esperados para ela, isto é, a competência da ontologia. A competência de uma representação diz respeito à cobertura de questões que essa representação pode responder ou de tarefas que ela pode suportar. Ao se estabelecer a competência, temos um meio eficaz de delimitar o que é relevante para a ontologia e o que não é. É útil, também, identificar potenciais usuários e os cenários que motivaram o desenvolvimento da ontologia em questão;
2. **Captura da Ontologia:** o objetivo é capturar a conceituação do universo de discurso, com base na competência da ontologia. Os conceitos e relações relevantes devem ser identificados e organizados. Um modelo utilizando uma linguagem gráfica, com um dicionário de termos, pode ser usado para facilitar a comunicação com os especialistas do domínio;
3. **Formalização da Ontologia:** o que se pretende é representar explicitamente a conceituação capturada no estágio anterior em uma linguagem formal;
4. **Integração com Ontologias Existentes:** durante os processos de captura e/ou formalização, pode surgir a necessidade de integrar a ontologia em questão com outras já existentes, visando aproveitar conceituações previamente estabelecidas;
5. **Avaliação da Ontologia:** a ontologia deve ser avaliada para verificar se satisfaz os requisitos estabelecidos na especificação. Adicionalmente, ela deve ser avaliada em relação a competência da ontologia e alguns critérios de qualidade para o projeto de ontologias;
6. **Documentação:** todo o desenvolvimento da ontologia deve ser documentado, incluindo propósitos, requisitos e cenários de motivação, as descrições textuais da conceituação, a ontologia formal e os critérios de projeto adotados. Assim, como a avaliação, a documentação é uma etapa que deve ocorrer em paralelo com as demais.

Além destas atividades, é necessário que após a obtenção da ontologia formal realize as etapas de projeto e implementação, conforme apresentado anteriormente.

2.4.8 OntoUML

OntoUML é uma linguagem ontologicamente bem fundamentada para especificação de ontologias, a linguagem é uma extensão da *Unified Modeling Language*⁶ (UML). Seu metamodelo foi concebido em conformidade com as distinções ontológicas de uma teoria bem fundamentada (UFO), apresentada na subseção anterior. OntoUML inclui um sistema de teorias axiomáticas inter-relacionados, fornecendo fundamentos de modelagem para todos os principais conceitos de modelagem conceitual, incluindo teorias para: tipos e estruturas taxonômica (incluindo papéis), relações parte-todo, eventos, relações formais e materiais, entidades dependentes (fracos), atributos e valores de atributos⁷.

2.4.9 Web Ontology Language

OWL é uma linguagem para web semântica, desenvolvida pela *World Wide Web Consortium*⁸ (W3C), para representação de ontologias na Web Semântica. Ela foi projetada para representar categorias de objetos e as relações entre eles, além de informações sobre os próprios objetos (HORROCKS; PATEL-SCHNEIDER, 2003). A OWL é uma linguagem centrada em axiomas e se baseia sobre uma hipótese de mundo aberto (WELTY; MCGUINNESS; SMITH, 2004).

A OWL foi proposta com o intuito de atender às seguintes restrições:

1. Manter a compatibilidade com padrão *Resource Description Framework*⁹ (RDF) para representação de informação na Web, estendendo a capacidade de expressar o conhecimento dito “ontológico”; e
2. ter sintaxe e semântica bem definidas, bem como um poder de expressividade que mantenha propriedades computacionais desejáveis (ZAMBORLINI, 2011).

2.4.10 Aplicações de Ontologias

Ontologias de domínio vem sendo usadas em diversas áreas e com diferentes propósitos. Algumas aplicações de ontologias se encontram na disponibilização de dados triplicados, que estão disponíveis no formato de grafo com a tripla sujeito, predicado e objeto. Estes servem tanto para consulta semântica na web, como para serem usados como *back-end* de aplicações web que trabalham com inferências para descoberta de novas informações.

Apesar da dificuldade de desenvolvimento que uma ontologia formal possui (utilização de um formalismo aplicado à uma ontologia é mais custoso que uma ontologia não formal), a permanência e o reuso da ontologia se tornam bem mais viáveis e contínuos quando

⁶ <<http://www.uml.org>>.

⁷ <<http://www.menthor.net/ontouml.html>>.

⁸ <<http://www.w3.org>>.

⁹ <<http://www.w3.org/RDF/>>.

a ontologia está desenvolvida em uma linguagem formal baseada em lógica (PINTO; MARTINS, 2000).

Com a grande disseminação do uso de ontologias identificou-se a necessidade de fazer o reuso destas ontologias, possibilitando integrar ontologias formais já existentes e fundamentadas com novas ontologias também formais. Uma das vantagens da abordagem de reuso é ajudar a web semântica a se tornar popular, facilitando na disseminação do conhecimento compartilhado, além de proporcionar um vínculo entre ontologias através do seu mapeamento e ajudando no desenvolvimento do nível de compatibilidade semântica entre elas.

Diversos estudos tem sido propostos na área, como técnicas para a compatibilidade de ontologias, tais como: combinação (PINTO; MARTINS, 2000), integração (CAMPOS, 2007), alinhamento (NOY; MUSEN, 2000) e mapeamento (FALBO et al., 2004). Apesar dos estudos propostos, a comunidade científica ainda vem evoluindo aos poucos, principalmente no campo de evolução de ontologias.

2.5 Mudanças em Ontologias

De acordo com (KHATTAK et al., 2009b), ao se considerar mudança de ontologias, deve-se seguir o seguinte pressuposto: decidir as modificações a realizar sobre uma ontologia em resposta a uma necessidade de mudança, por exemplo, o enriquecimento da estrutura ontológica. Existem várias subáreas no campo de mudança de ontologias e cada uma lida com uma faceta do problema a partir de uma determinada visão ou perspectiva diferente, cobrindo assim, diferentes necessidades de aplicação. Nesta investigação são identificados: versionamento, fusão, integração, aprendizagem ou geração e evolução. Há várias razões para mudanças contínuas em uma estrutura ontológica serem periódicas, seja pela descoberta de uma nova informação, pelos usuários da ontologia, ou pela necessidade de melhores inferências (STOJANOVIC et al., 2002), (FLOURIS; PLEXOUSAKIS; ANTONIOU, 2006), (FLOURIS et al., 2008). Porém, independente da necessidade, ao final da mudança, a consistência e a coerência da estrutura devem ser mantidas.

Segundo (JEDIDI, 2009) a coerência se refere às restrições sintáticas da linguagem OWL-DL¹⁰ e a utilização de seus construtores. Significa as condições estruturais próprias dos construtores OWL-DL e as *constraints* dos axiomas e combinações de axiomas (HORROCKS; PATEL-SCHNEIDER, 2003). Já a consistência permite verificar se a ontologia está semanticamente correta e não possui contradições, ou seja, a satisfação no nível lógico dos axiomas da ontologia. Em seguida são detalhadas as principais subáreas do campo de mudança de ontologia, onde considera-se sub-áreas aquelas que simplesmente fornecem

¹⁰ <<http://www.w3.org/TR/owl-ref/#OWLDL>>.

um método para alterar a ontologia, mesmo que nenhuma mudança seja necessariamente feita (FLOURIS et al., 2008).

1. **Versionamento de ontologias:** processo de modificar a ontologia, mantendo a versão original intacta. Principalmente usado em sistemas de *Concurrent Versions System (CVS)*¹¹. O processo lida com uma ontologia através da criação e gestão de suas diferentes versões, conforme apresentado na Figura 9. Com isso, nenhuma das diferentes versões geradas é perdida possibilitando assim a volta para uma determinada versão, caso seja necessário;

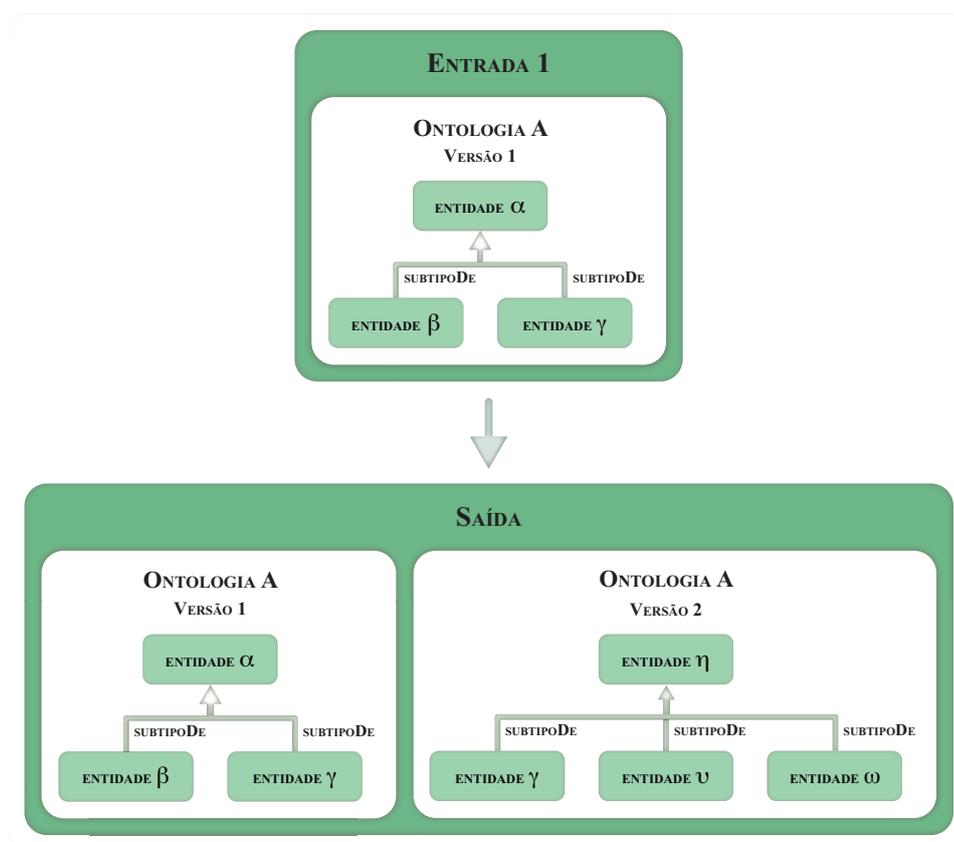


Figura 9 – Versionamento de ontologias.

2. **Fusão de ontologias:** composição da nova ontologia a partir de duas ou mais ontologias, abrangendo domínios altamente sobrepostos ou idênticos, conforme apresentado na Figura 10. Por exemplo, a ontologia de biodiversidade OntoBio¹² com a ontologia *Environment Ontology (ENVO)*, onde ambas trabalham com representação de características de tipos de ambientes, porém em níveis diferentes. A primeira a nível nacional, com foco na região Amazônica com a descrição de ambientes como, Mangue, Floresta Tropical Úmida, entre outros. A segunda a nível global, abran-

¹¹ CVS é um sistema de controle de versão. Este é utilizado para grava o histórico dos arquivos fonte (CEDERQVIST; PESCH et al., 1992).

¹² <<http://code.google.com/p/ontobio/>>.

gendo grupos de ambientes bem específicos, como o de Cavernas. Técnicas como *Ontology Alignment* são usadas para realização de fusão entre ontologias;

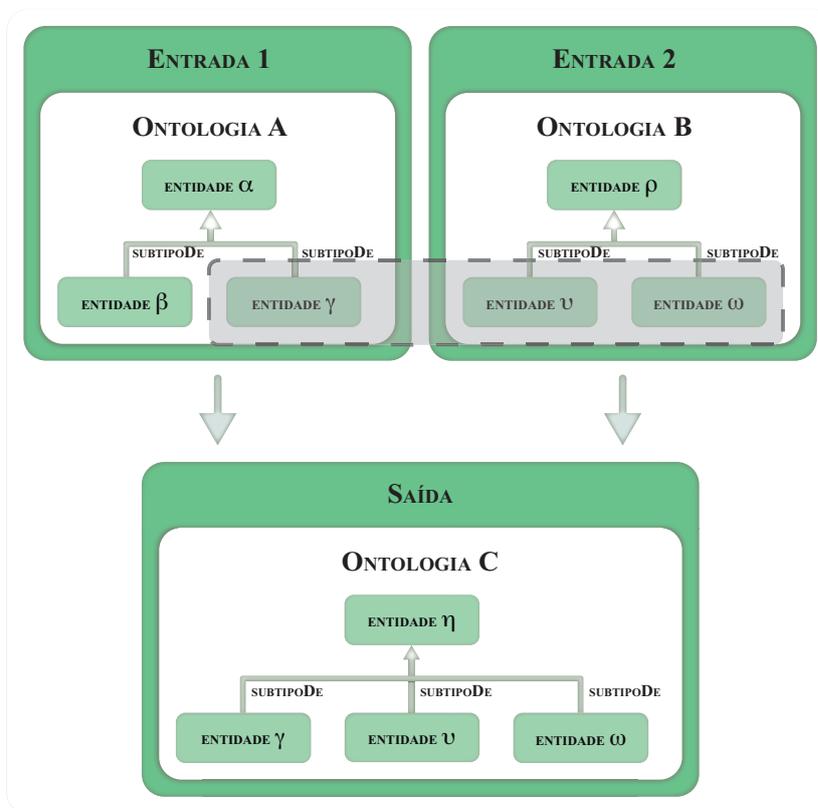


Figura 10 – Fusão de ontologias.

3. **Integração de ontologias:** composição de uma nova ontologia a partir de duas ou mais ontologias abrangendo domínios relacionados, conforme apresentado na Figura 11. Por exemplo a integração da ontologia de epidemiologia – *Epidemiology Ontology*¹³ (EPO) e a ontologia de entidade geográfica *Geographical Entity Ontology*¹⁴ (GEO), com objetivo de obter informações na área de ocorrência de um determinado vetor de transmissão de doenças, como o *vector-borne diseases*¹⁵. Além disso, gerar informações para análise de espécimens que se comportam como vetores de transmissão apenas em determinadas regiões, por exemplo, o vetor *Anopheles nuneztovari* (SINKA et al., 2012) que em regiões como Caribe e Venezuela se comporta como um vetor de transmissão, mas em regiões brasileiras ainda não foi encontrado nenhum indivíduo;
4. **Aprendizado de ontologias:** O processo de aprendizagem de ontologias (*ontology learning*) é formado por um conjunto de métodos e técnicas de construção semiautomática de novas ontologias ou para enriquecer ontologias já existentes (GÓMEZ-PÉREZ; MANZANO-MACHO et al., 2003), conforme apresentado na Figura 12.

¹³ <<http://code.google.com/p/epidemiology-ontology/>>.

¹⁴ <<http://code.google.com/p/ge-ontology/>>.

¹⁵ <<http://www.who.int/campaigns/world-health-day/2014/vector-borne-diseases/en/>>.

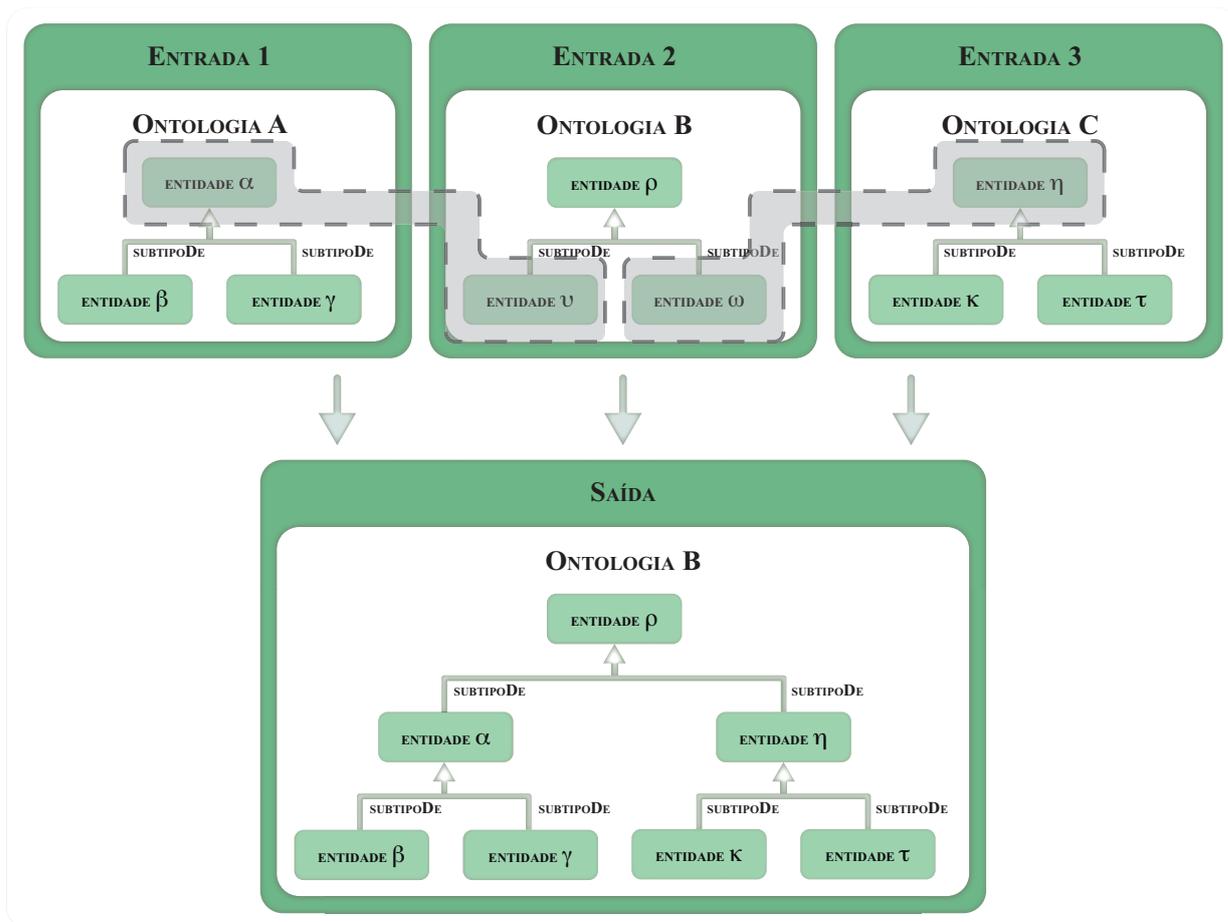


Figura 11 – Integração de ontologias.

Segundo (STAAB; STUDER, 2013), as abordagens de aprendizagem de ontologias podem ser classificadas de acordo com as entradas que incluem:

1. **Textos:** partem de um corpus de um domínio e utilizam técnicas de processamento de linguagem natural e aprendizado de máquina para aprender termos e relacionamentos;
2. **Dicionários:** utilizam as definições das entradas léxicas e utilizam as relações existentes entre elas (ex. sinonímia);
3. **Bases de conhecimento:** utilizam as regras existentes nas bases de conhecimento;
4. **Esquemas semi estruturados:** utilizam estruturas pré-definidas de dados e de relacionamentos como os existentes em arquivos *eXtended Markup Language*¹⁶ (XML); e
5. **Bancos de dados relacionais:** extraem conceitos e relações relevantes do conhecimento representados nos registros e nos esquemas dos bancos de dados.

¹⁶ <<http://www.w3.org/TR/REC-xml/>>.

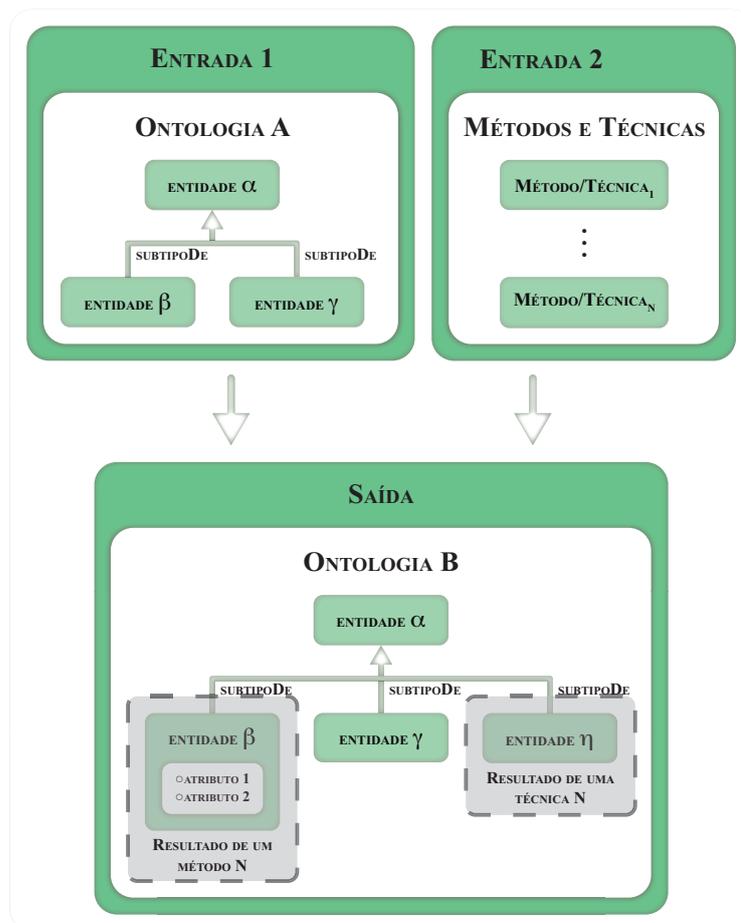


Figura 12 – Aprendizado de ontologias.

É importante ressaltar que as subáreas citadas são fundamentalmente diferentes e não devem ser confundidas. Além destas, pode-se destacar também alinhamento e mapeamento de ontologias, como subáreas importantes e citadas na literatura (FLOURIS et al., 2008). Em seguida a Tabela 1 corresponde a uma visão geral com características de algumas subáreas no campo de mudança de ontologias (FLOURIS et al., 2008).

2.6 Evolução de Ontologias

É o processo de modificar a ontologia quando há uma necessidade de mudança ou uma mudança no conhecimento de domínio. Por exemplo, alterar uma ontologia de biodiversidade para ser capaz de representar informações sobre classificação taxonômica de um espécime antes não identificado na natureza, a saída após a evolução da ontologia corresponde a uma operação P em cima de parte da ontologia, conforme representado na Figura 13. O trabalho de (DJEDIDI; AUFAURE, 2010) apresenta mais detalhes específicos sobre algumas abordagens, de evolução de ontologia.

Tabela 1 – Sub-áreas de mudança de ontologias. Adaptado de (FLOURIS et al., 2008).

Sub-área	Propósito	Entrada	Saída	Propriedades
Mapeamento de ontologias	Resolução de heterogeneidade, interoperabilidade.	Duas ontologias (heterogêneas).	Um mapeamento entre as assinaturas.	A saída identifica as assinaturas das entidades relacionadas.
Evolução de ontologias	Aplicação de mudanças (domínio/conceitualização).	Ontologia e mudança de operação(ções).	Uma ontologia.	Implementação de mudanças para a ontologia fonte.
Fusão de ontologias	Fusão de ontologias; Domínio idêntico.	Duas ontologias (abrangendo domínios idênticos).	Uma ontologia.	Fusão de conhecimento para descrever de forma mais precisa o domínio.
Integração de ontologias	Fusão de ontologias; Domínios similares.	Duas ontologias (abrangendo domínios similares).	Uma ontologia.	Fusão de conhecimento para abranger um domínio mais amplo.
Versionamento de ontologias	Transparente acesso de diferentes versões.	Diferentes versões de uma ontologia.	Um Sistema de versionamento.	Identificadores de versão identificam versões; Transparente acesso das versões; Determinação de compatibilidade;

2.6.1 *Ontology Matching*

É uma operação importante que pode ser utilizada como suporte em aplicações tradicionais, tais como: *ontology evolution*, *ontology integration*, *data integration* e *data warehouses*. É considerada uma solução para o problema de heterogeneidade semântica, encontrando correspondências entre as entidades relacionadas da ontologia. Estas correspondências podem ser usadas para várias tarefas, como fusão de ontologias, tradução de dados e resposta de consultas. Assim, *ontology matching* habilita a interoperabilidade entre o conhecimento e o dado expressado das ontologias correlacionadas (SHVAIKO; EUZENAT, 2013).

A Tabela 2 apresenta uma sucinta descrição sobre as ferramentas de edição de ontolo-

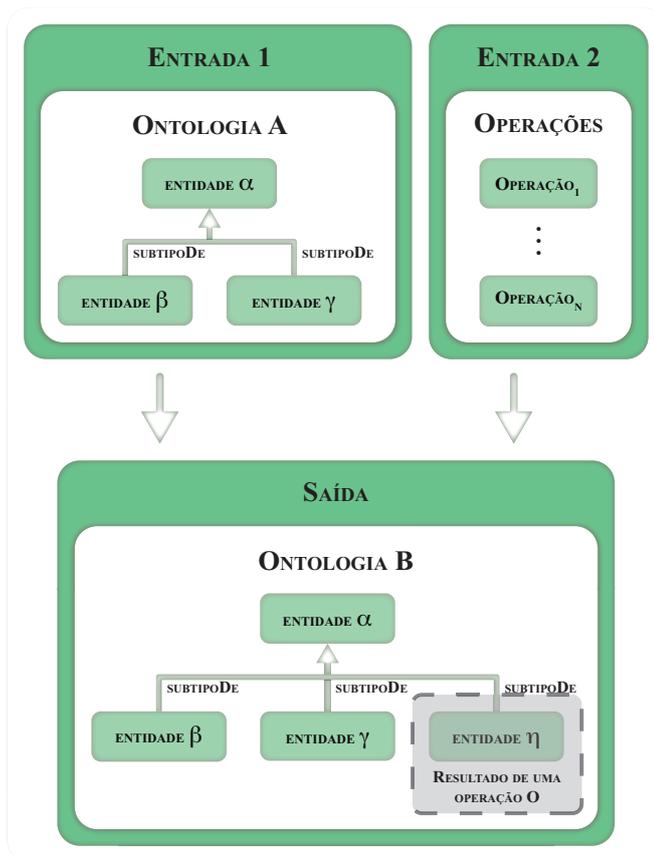


Figura 13 – Evolução de ontologias.

gias Protégé (NOY; FERGERSON; MUSEN, 2000), KAON (GABEL; SURE; VOELKER, 2004), Oiled (BECHHOFFER et al., 2001) e OntoEdit (SURE; ANGELE; STAAB, 2003).

2.6.2 Classificação de Mudanças

O trabalho de (STOJANOVIC, 2004) classifica as mudanças segundo três níveis de abstração:

1. Mudanças elementares aplicando as modificações somente em uma entidade da ontologia;
2. Mudanças compostas aplicando as modificações nas imediações de uma entidade da ontologia; e
3. Mudanças complexas aplicando as modificações em um conjunto arbitrário de entidades da ontologia.

Segundo (MESSAOUD; LERAY; AMOR, 2014), evolução de ontologia pode ser de dois tipos:

1. **População de ontologia:** quando novas instâncias de conceitos são adicionadas, diz-se que a ontologia é populada; e

Tabela 2 – Ferramentas para edição de ontologias. Adaptado de (KHATTAK et al., 2013).

Sistema	Contribuições	Limitações	Evolução
Protégé	Usado principalmente para criação de ontologias; Frequentemente utilizado para manutenção e evolução; Fornece merge, integração e comparação; Apoio a consultas SPARQL.	Gestão de mudança de ontologia fraca; Nenhuma facilidade para recuperação de ontologia; Utiliza serviços terceirizados para verificação de consistência da ontologia.	Suporte de manual de evolução.
KAON	Fornece serviços de edição de ontologia como Protégé; Fornece ambiente para a elaboração da estratégia de pré-evolução, evitando conflitos usando deduzir alterações; Suporta evolução automática, refazer e desfazer; Fornece a facilidade de edição colaborativa.	Sistema complexo; Lento em resposta; Precisa de engenharia de ontologias para a resolução de conflitos.	Estratégia pré-definida baseada em suporte de evolução.
Oiled	Usado para engenharia de ontologias; Não permite inconsistência na ontologia; Suporte semi-automático para evolução de ontologia.	Ausência de repositório de log para mudança; Ausência de repositório para recuperação de ontologia; Estrito em suas operações.	Suporte semi-automático.
OntoEdit	Usado para edição de ontologias; Mais opções que o KAON para tomada de estratégia; Permite ambiente de edição colaborativa.	Fornece menos operações que KAON; Envolve engenharia de ontologias para evitar efeitos secundários de conflitos.	Estratégia baseada em suporte de evolução.

2. **Enriquecimento de ontologia:** consiste na atualização (adicionar ou modificar) conceitos, propriedades e relações.

2.6.3 Manutenção da Coerência na Evolução de Ontologias

Em (HAASE et al., 2005) quatro abordagens diferentes são definidas para trabalhar a incoerência de OWL¹⁷: Evolução de ontologias coerentes, Reparação das incoerências, Raciocínio na presença de incoerências e Raciocínio multi-versão.

O trabalho desenvolvido em (HAASE; STOJANOVIC, 2005) propõem um modelo formal para evolução de ontologias coerentes em OWL, onde a coerência é definida por um conjunto de condições para serem cumpridas e são classificadas em três níveis:

1. **Coerência estrutural:** A estrutural corresponde as restrições da linguagem que a ontologia é desenvolvida;
2. **Coerência lógica:** A lógica trata da semântica formal da ontologia e sua satisfabilidade, verificando a existência de contradições lógicas na ontologia; e
3. **Coerência de usuário:** A de usuário se refere ao uso da ontologia pela comunidade e seu domínio de aplicação.

2.6.4 Importância da Evolução de Ontologias

Uma ontologia que não se tornou obsoleta deve mudar e se adaptar às mudanças no ambiente, às necessidades dos utilizadores, aplicações, etc. Portanto, para que uma ontologia possa continuar a ser útil é essencial que esta seja capaz de acomodar as mudanças que ocorrerão, inevitavelmente, durante sua utilização.

Uma das principais razões para a evolução de ontologias é, além do crescimento na sua utilização, a forma de percepção do domínio e como esse é abordado para atender a uma determinada necessidade. (STOJANOVIC et al., 2002) afirma que o desenvolvimento de ontologias e suas aplicações são caros, mas a evolução deles é ainda mais. Os custos de manutenção de sistemas de software tradicionais excedem os custos de desenvolvimento por um fator entre dois e quatro. Não há razão para supor que tal fato deva ser diferente quando o assunto é ontologia, principalmente quando esta é utilizada durante um longo período de tempo. O fato de ontologias complexas serem desenvolvidas por diversos colaboradores caracteriza um fator que contribui para o encarecimento de seu desenvolvimento.

¹⁷ Corresponde a consistência estrutural que considera *constraints* que são definidas para o modelo da ontologia com respeito aos construtos que são permitidos para formar os elementos da ontologia (no nosso caso os axiomas).

2.6.5 Problemas na Evolução de Ontologias

Segundo (KHATTAK et al., 2013), resolução de inconsistência está entre os problemas mais críticos e precisa de atenção antes, durante e depois do processo de evolução. A consistência é verificada para:

1. Modelagem consistente de novos recursos face aos recursos existentes;
2. Consistência com a ontologia correspondente; e
3. Consistência com as regras de negócio da organização.

(JEDIDI, 2009) define dois níveis de coerência:

1. **Estrutural:** verifica as restrições sintáticas da linguagem OWL-DL (HOPCROFT; ULLMAN; MOTWANI, 2002); e
2. **Lógica:** verifica se a ontologia é semanticamente correta e se não comporta contradições.

A maioria dos sistemas usam um especialista para resolver o problema de conflitos (STOJANOVIC et al., 2002; CASTANO; FERRARA; HESS, 2006; KLEIN; NOY, 2003; PLESSERS; TROYER, 2005). A granularidade de mudança é outro problema existente, onde deve ser escolhido em qual nível a mudança será executada. Ainda não há um consenso quanto a nomenclatura utilizada para um determinado nível de mudança. Por exemplo, (FLOURIS et al., 2008) considera que mudanças elementares são a adição e remoção de elementos (conceitos, propriedades, etc.); e (JEDIDI, 2009) considera que mudanças complexas envolvem classes e subclasses.

Alguns trabalhos como KAON (GABEL; SURE; VOELKER, 2004) e OntoEdit (SURE; ANGELE; STAAB, 2003) predefinem algumas estratégias de evolução para tratar problemas de inconsistência. Por exemplo, no caso de existir duas alternativas para uma mudança de conceito, onde uma corresponde em tornar o conceito uma propriedade de outro conceito e a outra em tornar um sub-conceito de outro conceito. Neste caso, a escolha da segunda alternativa deve ser selecionada e pré-definida na estratégia de evolução. Em contrapartida (KHATTAK et al., 2013) atenta para não fazer estratégias pré-determinadas de todos os tipos de conflitos, de modo que o engenheiro de ontologias é necessário para a resolução destes conflitos. Duas alternativas são demonstradas no trabalho de (KHATTAK et al., 2013) para resolução de conflitos na evolução de ontologias, dentre elas:

1. **Treinamento do Sistema:** é difícil treinar o sistema para uma lista exaustiva de mudanças (mesmo para um domínio específico) e, em seguida, esperar resultados precisos. Esses resultados, podem não ser aceitos pelo engenheiro de ontologias. Deve-se considerar também a possibilidade de uma cascata de conflitos e resolver tudo isso pode resultar em tempo de resposta reduzido do sistema; e

2. Impacto de mudanças deduzido: proposto para selecionar mudanças deduzidas a partir de alternativas com menor impacto sobre ontologia. No entanto, é importante analisar qual aspecto da ontologia deve ser considerado na análise do impacto da mudança para as mudanças deduzidas. Deve-se considerar também, que algumas alterações têm impacto maior sobre a ontologia e outras menos.

De modo geral, o termo evolução de ontologias é aplicado nesta investigação de forma flexível, com intuito de não considerar apenas uma definição da literatura, embora sua fundamentação siga a ideia de referências como (STOJANOVIC, 2004; FLOURIS et al., 2008; JEDIDI, 2009; KHATTAK et al., 2008b; MESSAOUD; LERAY; AMOR, 2014), onde evolução de ontologias é essencialmente modificar a ontologia quando há uma necessidade de mudança ou uma mudança no conhecimento do domínio, não deixando de preservar sua consistência e coerência.

2.7 Informação de Biodiversidade

A Biodiversidade é um termo científico oriundo do latim, significa “a variedade da vida” e refere-se à diversidade dos organismos vivos e suas classificações. Segundo (DOBSON; LOVEJOY, 1996) biodiversidade é “a soma de todos os diferentes tipos de organismos que habitam uma região tal como o planeta inteiro, o continente africano, a Bacia Amazônica ou nossos quintais”. Como uma definição mais formal tem-se:

A biodiversidade significa a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas¹⁸.

Algumas organizações vêm se preocupando com a disponibilização de informações sobre biodiversidade, dentre elas estão: Museu Paraense Emílio Goeldi¹⁹ (MPEG), Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia²⁰ (INPA), Centro de Biotecnologia da Amazônia²¹ (CBA), Centro de Referência em Informação Ambiental²² (CRIA), *Global Biodiversity Information Facility*²³ (GBIF) e *New York Botanical Garden*²⁴ (NYBG).

¹⁸ Ministério do Meio Ambiente (MMA), Conversão sobre Diversidade Biológica (CDB), 2002. <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/cdbport_72.pdf>.

¹⁹ <<http://www.museu-goeldi.br/portal/>>.

²⁰ <<http://portal.inpa.gov.br>>.

²¹ <http://www.suframa.gov.br/publicacoes/site_cba/index.htm>.

²² <<http://www.cria.org.br>>.

²³ <<http://www.gbif.pt>>.

²⁴ <<http://www.nybg.org>>.

Além disso, é notável a crescente demanda por estas informações 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 (ALBUQUERQUE, 2014).

Um fato que chama atenção no contexto de dados sobre biodiversidade disponíveis na Web, é a inexistência de dados de conhecimento legado (podendo estes ser do pesquisador, do mateiro, do pescador, do guia nativo, entre outros), importante para agregar valor aos dados já disponíveis. Estes dados estão presentes no modelo mental do indivíduo, pois representam o processo de pensamento de uma pessoa sobre o funcionamento das coisas, ou seja, o entendimento do mundo ao seu redor. Esta memória organizacional tende a ser perdida devido a entropia da informação.

2.7.1 Personas da Biodiversidade

No contexto desta investigação, o campo de biodiversidade possui alguns agentes que são importantes destacar, tais como:

1. **Mateiro:** Responsáveis por auxiliar, guiar e fornecer suporte logístico em viagens e trabalhos de campo empreendidos por expedições científicas na região amazônica, tais ações são frequentes realizadas pelos denominados *mateiros*. Estes agentes sociais não têm uma formação acadêmica específica e são usualmente classificados como autodidatas. Seu conhecimento aprofundado e empírico dos diferentes ecossistemas da região amazônica os tornou detentores de um saber prático essencial ao desdobramento do conhecimento científico. Esta definição vale para os *mateiros* que são bons em identificar plantas e são categorizados como Parabolíticos. Além disso, existem também *mateiros* com especificação voltadas para trabalho em ambientes terrestres;

Esses “auxiliares de campo” eram antigamente recrutados, junto aos próprios povos indígenas, para integrar as equipes estrangeiras e para propiciar o suporte de toda a estrutura logística e servir como guias nas excursões realizadas pelos rios e florestas.

A partir de meados do século XX, a inserção de diversas instituições científicas na Amazônia, como o INPA, contribuiu para o fortalecimento e surgimento formal do agente social *mateiro* integrando equipes de pesquisa (NAKAZONO, 2010);

2. **Pescador (como auxiliar de pesquisas)**²⁵: Responsável por auxiliar, guiar, fornecer suporte logístico (incluindo pilotar embarcações com e sem motor) e coletar

²⁵ As informações para esta definição foram obtidas através de consultas com pesquisadores do INPA. No Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) (e no governo federal, de forma geral), não

amostras de peixes em viagens e trabalhos de campo empreendidos por expedições científicas em ambientes aquáticos na região amazônica. Este agente social não tem uma formação acadêmica específica e é usualmente classificado como autodidata. Assim como o mateiro, o pescador possui um conhecimento aprofundado e empírico dos diferentes ecossistemas e organismos (no caso, peixes) da região amazônica. Em muitos casos, quando é capaz de identificar taxonomicamente espécies de peixes, pode ser considerado parataxonomistas;

3. **Técnico**²⁶: Responsável, de uma forma geral, por exercer atividades de apoio às atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico; e
4. **Pesquisador**: Responsável por desenvolver pesquisa aplicada, buscando teorizar um novo conhecimento.

2.7.2 O Panorama da Complexidade dos Dados de Biodiversidade

A complexidade advém da característica da pesquisa neste campo, que por ser transdisciplinar requer a cooperação de pesquisadores de várias áreas e que aplicam diferentes métodos e instrumentos de investigação. 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 assim modelos capazes de descrever estas interações.

Segundo (ALBUQUERQUE, 2011), os dados científicos apresentam duas características importantes: não são fortemente tipados e possuem alguma forma de estrutura, ainda que implícita, que pode ser percebida pelo usuário. Esta estrutura não é rígida, podendo apresentar variações diversas. Na literatura, dados deste tipo são usualmente chamados semi-estruturados. As bases de dados de biodiversidade não apresentam uma estrutura regular e estática como a encontrada por exemplo em bancos de dados relacionais. Existe uma estrutura nos dados de biodiversidade, porém se suas unidades forem visualizadas individualmente, os dados semi-estruturados são inadequados para serem modelados usando uma abordagem convencional de modelagem conceitual. Os dados biológicos não possuem um padrão de estruturação típico para ser seguido pelos pesquisadores, o que dificulta a análise destas informações. Diversas são as estruturas encontradas, como por exemplo, gráficos, textos, hipertextos, arquivos diversos, vídeos, arquivos de áudio, bloco de notas, etc. Estes tipos de dados também podem ser encontrados em sistemas de arquivos como sistemas de correio eletrônico, na Web, entre outros.

existe a carreira profissional de “pescador”, pois ela era específica do INPA (e de umas poucas outras instituições) e foi extinta. Hoje, todos os antigos pescadores e mateiros do INPA são classificados como “técnicos de nível médio”.

²⁶ <<http://www.vestcon.com.br/ft/conc/13684.pdf>>.

2.8 Ontologia para Biodiversidade – OntoBio

A OntoBio, uma ontologia formal aplicada a dados de biodiversidade (ALBUQUERQUE, 2011) 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, que descreve basicamente conceitos, relações entre conceitos e regras de integridade.

A OntoBio foi implementada por pesquisadores vinculados ao Programa de Pesquisa em Biodiversidade²⁷ (PPBio). Utilizou a UFO para prover uma conceitualização clara e precisa dos aspectos considerados em coletas de dados de biodiversidade e para responder questões de competência da ontologia. A ontologia de biodiversidade está dividida em cinco sub-ontologias, conforme Figura 14. Sendo subdivida nas seguintes Sub-ontologias:

1. **Ambiente:** representa informações sobre o ambiente, sendo que o modelo ontológico desta entidade está subdividido em outras duas classes que são subclasses da classe Ambiente: Micro ambiente e Macro ambiente. As informações representadas nesse domínio do modelo são: tipo do ambiente, condições climáticas, luminosidade, fases da lua, entre outros;
2. **Coleta:** representa informações sobre materiais. São informações que se dividem em entidade biótica e abiótica, onde na primeira encontram-se informações de Taxonomia, Animal, Micro-organismo, Sexo, Planta, Flora, Vegetação, entre outros. Na segunda (abiótica) encontram-se informações sobre Solo, Água e Ar;
3. **Ecossistema:** representa informações sobre ecossistema. São informações relacionadas com Meso, Macro e Micro Ecossistema, além de Tipo do Ecossistema e Bioma;
4. **Entidade Material:** representa informações sobre coleta. São informações relacionadas com tipo de coleta, instrumento de coleta, responsável pela coleta, ou seja, como a coleta foi feita (manual ou instrumental), qual instrumento utilizado, se foi do tipo armadilha, ou por redes, entre outros; e
5. **Localização Espacial:** representa informações sobre espaço geográfico. São todas as informações relacionadas com Tipo de Região, Local de Coleta, Localidade, Ponto Geográfico de onde as espécies foram coletadas.

2.8.1 Reestruturação da Ontologia para Biodiversidade – OntoBio^R

A OntoBio apresenta algumas inconsistências que necessitam de correção antes de sua utilização, como identificado no trabalho de (SALES, 2012). Notou-se que tal reestruturação era necessária quando o modelo ontológico proposto foi validado com especialistas

²⁷ <<http://ppbio.museu-goeldi.br>>.

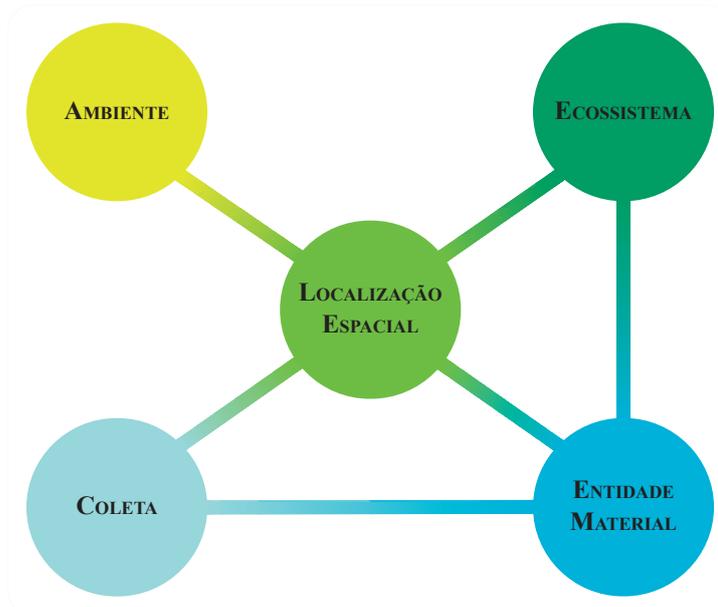


Figura 14 – Esquema simplificado da ontologia de biodiversidade – OntoBio (ALBUQUERQUE; SANTOS; CASTRO, 2015).

no domínio em questão. A validação teve como foco o entendimento dos especialistas sobre os conceitos, propriedades e relações modeladas. Para isto, foram feitas reuniões com pesquisadores especialistas em linhas de pesquisa: Botânica, Ciências da Terra, Clima e Ambiente, Ecologia, e Zoologia; vinculados aos institutos: INPA, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e MPEG; e aos programas: PPBio e Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA).

Esse processo foi desenvolvido em conjunto com o trabalho de (OLIVEIRA, 2016), onde podem ser encontrados mais detalhes. Todas as principais modificações realizadas nesta etapa de reestruturação da OntoBio se encontram no Apêndice A.

2.9 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foi elaborado um recorte teórico para esta investigação, incluindo aspectos relacionados à IA, RC, biodiversidade, ontologias e mudança de ontologias com foco em evolução de ontologias.

No decorrer da investigação na literatura, foi percebido que a área de pesquisa que aborda mudança de ontologia é bastante ampla, e quando se trata da subárea evolução de ontologias as propostas são de modo geral baseadas em técnicas semi-automáticas e com a necessidade de intervenção de um engenheiro de ontologias. Isso ocorre devido a complexidade e dinamicidade em desenvolver sistemas que tratam da representação de um domínio, onde visões/interpretações diferentes podem existir.

Além da subárea de evolução de ontologias, existem também métodos de aprendizagem

de ontologias que vêm sendo desenvolvidos para redução nos esforços de aquisição do conhecimento, esta área é chamada na literatura de *Ontology Learning*. Algumas vezes, a aprendizado e evolução de ontologias chegam a se confundirem pois ambos têm como objetivo enriquecer ontologias já existentes. Porém, aprendizado de ontologia contempla a criação inicial de ontologias, o que não é observado em evolução de ontologias.

Várias propostas na literatura são observadas, conforme apresentado no capítulo seguinte. Porém, elas não disponibilizam a reutilização automática de suas partes. Além disso, cada proposta trata da mudança de ontologias partindo de um pressuposto específico para descoberta de mudanças. Todas as arquiteturas de referência que foram abordadas nesta investigação, possuem sua essência de desenvolvimento disponibilizada para ser utilizada como base de investigações futuras.

Um ponto a ser ressaltado é a não utilização de técnicas automatizadas de *ontology matching* nesta investigação. Isso ocorre porque a maioria dos sistemas que aplicam esta técnica não serem baseados em análises semânticas, mas sim em análises sintáticas. Além disso, a intervenção de um engenheiro de ontologias que entenda, mesmo que basicamente o domínio modelado, se torna mais útil ao realizar correlações manuais entre os modelos e contribuir na determinação das escolhas de sugestões de mudança aqui propostas.

De modo geral, o processo de mudança em uma ontologia é uma tarefa que, independente da técnica utilizada, deve possibilitar a interferência e análise tanto do engenheiro de ontologias como do especialista do domínio.

No próximo capítulo são apresentados os trabalhos de referência para evolução de ontologias e suas estratégias de evolução.

3 Trabalhos Relacionados

Este capítulo propõem analisar as abordagens e estratégias utilizadas para trabalhar com evolução de ontologias. São considerados trabalhos relacionados os que fazem referência a gestão de mudanças de ontologia, com foco em evolução de ontologia, estratégias e técnicas para propor evolução.

3.1 *Evolving Ontology Evolution*

(FLOURIS; PLEXOUSAKIS; ANTONIOU, 2006) em seu trabalho, determina que não existe uma única maneira correta de mudar uma ontologia. O trabalho aborda a evolução de ontologias com base na revisão de crença, aplicando técnicas, métodos, ferramentas, ideias e intuições desenvolvidas pela comunidade de mudança de crença na evolução de ontologia.

(FLOURIS; PLEXOUSAKIS; ANTONIOU, 2006) justifica ainda que o maduro campo de mudança crença fornece as formalizações necessárias que podem ser utilizadas pelo campo ainda imaturo de evolução de ontologia. Nesse sentido, sua abordagem de evolução de ontologias é focada no fato (observação, experiência) que iniciou a mudança e não na mudança em si.

O trabalho supracitado utilizou como recurso a teoria AGM¹ de contração, para aplicar na evolução de ontologias. Um ponto negativo observado é que o mesmo possui pesquisa com dados vindos da web, o que implica que os dados podem ser obtidos por fontes não confiáveis. Com isso, os novos dados gerados podem ser parcialmente ou totalmente rejeitados.

Como resultado, o trabalho deixa claro que seu estudo não fornece quaisquer soluções concretas para o problema, e sim que objetivava obter bases teóricas sólidas. Para isso, utilizou a teoria AGM de contração para ser aplicada no processo de evolução de ontologias. Os autores concluíram que a maioria das técnicas, ideias, algoritmos e intuições expressas no campo de mudança de crença podem ser migrados para o contexto de evolução de ontologias. Ao utilizar a teoria AGM o trabalho avaliou a viabilidade de sua aplicação para o contexto ontológico. As dificuldades encontradas durante esta migração são provavelmente típicas das dificuldades que serão encontradas durante a aplicação de outras ideias de mudança de crença para a evolução de ontologias.

O trabalho proposto nesta investigação se difere do aqui apresentado no que diz res-

¹ Obra mais influente na área de mudança de crença (ALCHOURRÓN; GÄRDENFORS; MAKINSON, 1985).

peito ao recurso utilizado para aplicar em um processo de evolução de ontologias. (FLOURIS; PLEXOUSAKIS; ANTONIOU, 2006) utilizaram a teoria AGM e esta investigação utiliza conhecimento tácito de especialistas em biodiversidade.

3.2 SemCaDo: *A serendipitous Strategy for Causal Discovery and Ontology Evolution*

(MESSAOUD; LERAY; AMOR, 2014) com base em uma ontologia de domínio, propõem uma abordagem baseada na extensão do algoritmo MyCaDo (MEGANCK, 2008), a fim de incorporar o conhecimento causal prévio disponível. O objetivo principal do trabalho é desenvolver o algoritmo chamado *Semantic Causal Discovery* (SemCaDo). Com isso a abordagem objetiva utilizar a causalidade como integração do conhecimento prévio contido na ontologia, além de usar um cálculo semântico de distância para orientar o processo de descoberta iterativa causal. O trabalho captura as descobertas de causalidade para serem aplicadas na ontologia.

O algoritmo SemCaDo tem como característica original a capacidade de descobrir e reutilizar o conhecimento capitalizado nas *Causal Bayesian Networks* (CBNs) (MURPHY, 2001), para assim realizar a evolução na ontologia. Como entrada, o algoritmo tem um conjunto de dados de observação e uma ontologia de domínio correspondente. Como saídas, retorna uma CBN e uma lista de novas relações causais descobertas.

Um dos motivos do trabalho optar por contínuas mudanças na ontologia, corresponde à capacidade de fazer inferência semântica mais robusta e confiável. Assim, o trabalho propõe que alterações que não preenchem o requisito da continuidade ontológica não sejam consideradas como evolução de ontologias. Para esse caso é dado o nome de revolução de ontologia.

A maneira de obter a aquisição de conhecimento durante a evolução da ontologia é através da aplicação de processos automáticos (ou semi-automáticos) de extração de conhecimento, tais como abordagens de mineração de texto. O trabalho não define a fonte dos conhecimentos extraídos e nem o nível de confiabilidade deles, gerando um ponto negativo.

Por fim, vale ressaltar que para apoiar as mudanças de ontologias, o trabalho utiliza o princípio da continuidade ontológica (XUAN; BELLATRECHE; PIERRA, 2006).

3.3 *A Versioning Management Model for Ontology-Based Data Warehouses*

Em seu trabalho (XUAN; BELLATRECHE; PIERRA, 2006) aborda o gerenciamento das mudanças de conteúdo e esquemas de fontes de dados, através da adaptação de soluções existentes propostas em bancos de dados tradicionais. Para apoiar as mudanças na ontologias, é proposto o princípio da continuidade ontológica, que supõe que uma evolução de ontologia não deve tornar falso um axioma que anteriormente era verdade.

Dessa maneira, as fontes de dados da base ontológica são integradas em um armazém de dados baseado em ontologias, assumindo-se que tanto dados, ontologias e esquemas podem evoluir ao longo do tempo. O trabalho afirma que a presença de ontologias nos repositórios permite uma automatização do processo de integração dos dados. Isso, porém gera um ponto negativo na abordagem, tornando a gestão das fontes ontológicas mais difíceis.

O trabalho descreve a diferença entre ontologias e esquemas de banco de dados e sugere a distinção de evolução e revolução de ontologia. Evolução de ontologia deve respeitar o princípio da continuidade ontológica, ou seja, um axioma que era verdade para uma versão específica permanecerá verdadeiro sobre todas as evoluções sucessivas, caso contrário a evolução na ontologia se torna uma revolução.

Diante disso, a hipótese permite a gestão de cada instância usando uma nova versão da ontologia.

3.4 *Building an Integrated Framework for Ontology Evolution Management*

(KHATTAK et al., 2009a) em seu trabalho desenvolve um *framework* integrado para gerenciamento de evolução de ontologia, composto por quatro módulos principais que oferecem suporte à evolução automática da ontologia de um estado consistente para outro. Sendo estes:

1. **Alterar detecção e descrição:** nesse módulo as novas alterações são automaticamente detectadas. Estas mudanças são por causa de conceito(s) emergente(s). Após a detecção, estas mudanças são representadas em uma estrutura semanticamente sólida. Um *Change History Log* (CHL) é utilizado para representar e registrar todas as alterações da ontologia;
2. **Detecção de inconsistências:** compreende todas as inconsistências sintáticas e semânticas, devido a pedidos de alterações. Para esta resolução, mudanças deduzidas

são introduzidas no pedido de mudança. A técnica de KAON API (GABEL; SURE; VOELKER, 2004) foi utilizada para a sua execução;

3. **Mudança de implementação e verificação:** módulo que corresponde a solicitação de mudança completa aplicada à ontologia. Concentra-se em mudanças no nível atômico e completo de forma isolada. Caso após a aplicação de determinadas mudanças a ontologia se encontrar inconsistente, há uma possibilidade de *loop* para detectar a inconsistência e tornar a ontologia consistente. Após a implementação, todas as mudanças são registradas no CHL (KHATTAK et al., 2008a) para desfazer/refazer ou recuperar posteriormente as implementações. A verificação é feita com objetivo de constatar se todas as alterações solicitadas são implementadas adequadamente através da consulta da solicitação de mudança; e
4. **Mudança de log:** repositório para manter o controle de todas as mudanças aplicadas. É gerado a partir de uma estrutura semântica e do CHL. Esse histórico oferece alguns benefícios, como: mudanças de gestão adequada, fazer/refazer mudanças, recuperação e navegação visual dos efeitos de mudança na ontologia (KHATTAK et al., 2008b).

Um ponto negativo do trabalho é que a origem das mudanças para ao processo de evolução não são especificadas e nem possuem um modelo formal.

3.5 *Discovery Driven Ontology Evolution*

O trabalho apresentado por (CASTANO; FERRARA; HESS, 2006) define uma abordagem de evolução de ontologia com base nas alterações reconhecidas a partir de análises de recursos multimídias. Para isso, a abordagem utiliza uma ontologia com objetivo de prover uma interpretação dos elementos extraídos dos recursos multimídia, como imagens, documentos textuais, vídeo e áudio.

Cada elemento extraído do recurso multimídia é chamado de objeto multimídia, como por exemplo, uma parte de uma imagem. Metadados são associados, representando as informações semânticas extraídas do recurso multimídia.

A descoberta automática de mudanças é realizada utilizando técnicas de correspondência de ontologia a partir de objetos multimídia. Para a descoberta de novos conceitos dos objetos fragmentados, utiliza-se o *H-Match* (CASTANO; FERRARA; MONTANELLI, 2006). A técnica é usada para encontrar novos conceitos, a partir dos conceitos já existentes na ontologia.

O *H-Match* invoca um dicionário de termos e relações terminológicas automaticamente extraído do sistema léxico WordNet (MILLER, 1995). Como melhoria de precisão do trabalho, foram implementados quatro modelos correspondentes: superfície, superficial,

profundo e intenso, discutidos em (CASTANO; FERRARA; HESS, 2006).

Um ponto negativo no trabalho é que não existe uma etapa de validação da ontologia nem se a mesma desenvolveu inconsistências durante seu processo de enriquecimento.

3.6 *Approche d'évolution d'ontologie Guidée par des Patrons de Gestion de Changement*

(JEDIDI, 2009) desenvolveu uma metodologia de gestão de mudança chamada Onto-Evo^{a1} (*Ontology-Evolution-Evaluation*). A metodologia é guiada por uma modelagem orientada a padrões e uma atividade de avaliação de qualidade.

Os padrões possuem três dimensões: Mudança, Inconsistência e Alternativa de Resolução. Com base nos padrões modelados e as ligações conceituais entre eles, o trabalho propõe um processo automatizado para conduzir a aplicação de mudança, não deixando de manter a consistência da ontologia evoluída.

Uma ontologia de modelo de qualidade é utilizada como atividade de avaliação para guiar a resolução de inconsistências, além de avaliar o impacto de alternativas de resolução que são propostas no processo de evolução.

Dessa maneira o trabalho realiza a aplicação da mudança na ontologia de forma automatizada, com a especificação da mudança sendo realizada formalmente. As inconsistências geradas por uma determinada mudança durante o processo são identificadas e explicadas. De acordo com esse aspecto, o trabalho propõe soluções para resolver as inconsistências de modo que o engenheiro de ontologias possa escolher a resolução adequada na validação final.

(JEDIDI, 2009) afirma que na maioria das abordagens de evolução de ontologia são encontradas dificuldades no tratamento de conflitos para a implementação de mudanças. Isso ocorre também na realização automática de validação da estrutura, onde não existe a intervenção de um engenheiro de ontologias. Outro fator discutido no trabalho é a forma de compor a solicitação de alteração na ontologia, visto que cada abordagem possui um motivo particular.

Um ponto fraco do trabalho é que o *plugin* para realizar a gestão de evolução da ontologia foi desenvolvido para a plataforma DAFOE², fato que indisponibilizou sua utilização devido a plataforma não está disponível para acesso.

Na Tabela 3 é possível perceber duas abordagens que utilizam como base o processo de evolução de ontologia definido por (STOJANOVIC, 2004). Vale ressaltar que o trabalho

² Uma Plataforma para construir ontologias a partir de textos e de tesouros. <<http://www.medialab.sciences-po.fr/publications/dafoe-une-plateforme-pour-construire-des-ontologies-a-partir-de-textes-et-de-thesaurus/>>.

desenvolvido por (STOJANOVIC, 2004) é abordado com mais detalhes no capítulo 4, devido o mesmo ter sido utilizado como base para o desenvolvimento desta investigação.

Tabela 3 – Abordagens de evolução de ontologia. (KHATTAK et al., 2013), (CASTANO; FERRARA; HESS, 2006)

Abordagem	<i>Discovery Driven Ontology Evolution</i> ³	<i>Building an Integrated Framework for Ontology Evolution Management</i> ⁴
Requisição da Mudança	Mudanças são reconhecidas automaticamente através de análises de artefatos de domínio. H-Match ⁵ e WordNet ⁶ são usados para detecção;	Novas mudanças, tais como (mudança de um conceito, grupo de conceitos e conceitos em uma estrutura hierárquica) são detectados automaticamente usando H-Match e WordNet. Alterar representação é fornecida por histórico de alterações ontologia (CHL ⁷);
Resolução de Conflito	Inconsistências são resolvidas pelo engenheiro de ontologias;	Para resolução de conflitos a API KAON ⁸ é utilizada, com algumas extensões sugeridas;
Implementação da Mudança	As alterações são feitas pelo engenheiro de ontologias;	As alterações são aplicadas atomicamente e depois de cada implementação da mudança, estes são registrados no CHL. No final, todas as mudanças são validadas em função do pedido de mudança;
Propagação da Mudança	Propagação de mudança não é o foco;	Propagação da mudança não é tratada nesta abordagem;
Automação	Semi-automático;	Esta abordagem proporciona sugestões para a automação do processo.

3.7 Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo teve como objetivo, apresentar os trabalhos relacionados identificados sobre o mesmo tema ou tema similar a esta investigação. Com base no que foi apresentado, diversas dificuldades podem ser encontradas quando se trata de evolução de ontologias, pois afeta todo o conhecimento até então descrito no modelo ontológico.

Diferentemente das estratégias de evolução de ontologias dos trabalhos citados, esta investigação tem como base de estratégia de evolução a utilização de conhecimentos que se encontram nos modelos mentais de especialistas em biodiversidade. Esse conhecimento se torna explícito através de um esquema sequencial de formalização, gerando Modelos

⁵ (CASTANO; FERRARA; HESS, 2006).

⁶ (KHATTAK et al., 2009a).

⁷ (CASTANO; FERRARA; MONTANELLI, 2006).

⁸ (MILLER et al., 1990).

Ontológicos dos Especialistas no domínio (MOE) (OLIVEIRA, 2016). Esses modelos ontológicos usam como base a OntoBio.

A estratégia de utilizar o conhecimento vindo do modelo mental do especialista como recurso a ser inserido na ontologia é uma forma de gerar dinamismo a esta ontologia, com objetivo de prover à ontologia capacidade de representar conhecimentos que são oriundos de anos de experiência dos especialistas do domínio.

De forma geral, esta investigação objetiva o desenvolvimento de uma alternativa para evolução de ontologias, a partir da criação e mapeamento de sugestões de mudanças.

No próximo capítulo é apresentada a estratégia para evolução de ontologias.

4 Estratégia Para Evolução de Ontologias

Este capítulo descreve a estratégia proposta para evolução de ontologias, assim como as especificações de todos os seus componentes.

4.1 Introdução

O conhecimento está sempre em evolução assim como sua forma de interpretação, fato que justifica o ambiente mutável de aplicações. Com a utilização de ontologias não poderia ser diferente. Ontologias descrevem formalmente um domínio específico, suas estruturas, relações, entidades, restrições, instâncias, entre outros. Conseqüentemente se esse domínio muda/evolui, a estrutura que o representa também deve mudar/evoluir. Desenvolver abordagens para evolução de ontologias não é uma atividade trivial. Cada vez mais a escolha de qual e como um conteúdo deve ser representado em uma base de conhecimento torna-se uma tarefa importante no campo de Representação do Conhecimento.

Melhorias nos detalhes semânticos de uma ontologia são altamente dependentes do especialista do domínio, fato que justifica o desenvolvimento de uma estratégia de evolução de ontologias baseada na eliciação do modelo mental de especialistas¹.

Modelos mentais de acordo com (JOHNSON-LAIRD, 1983) são representações analógicas da realidade, entendidas como qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que representa algo que é tipicamente um aspecto do mundo exterior ou do interior em sua essência. São essenciais para o entendimento da cognição humana, pois nossa percepção do mundo não se dá diretamente e sim por meio das representações que construímos em nossa mente, independente se a representação que possuímos seja algo que existe na natureza ou se nós a criamos em nosso processo de mapeamento da realidade e compreensão.

A eliciação objetiva obter o conhecimento adquirido ao longo de muitos anos de pesquisa e experiências do especialista (conhecimento tácito), que possui relevância e potencial para orientar uma série de ações futuras, por exemplo, o estabelecimento de políticas públicas ambientais, tais como: identificação de oportunidades para a conservação, manejo e uso sustentável. Para tal, é fundamental que haja conhecimento dos dados modelados no domínio da biodiversidade.

Nesse contexto, propõe-se utilizar o conhecimento vindo do modelo mental dos espe-

¹ Susan Carey define modelo mental como sendo uma representação do processo de pensamento de uma pessoa a respeito do funcionamento de algo, baseado em: fatos incompletos, experiências passadas e até mesmo percepções intuitivas; com o objetivo de moldar ações e comportamentos, influenciando no que será considerado mais relevante em situações complexas e definindo como indivíduos confrontam e resolvem problemas (CAREY, 1999).

cialistas, capturado a partir de entrevistas, para então gerar sugestões de mudança à uma ontologia de domínio, neste caso a OntoBio^R. O objetivo é criar um estratégia de evolução para ontologias que ajude estas estruturas a não se tornarem obsoletas e contribuir para que melhores inferências sejam realizadas em sua estrutura.

A estratégia proposta visa também contribuir para o panorama de ampliação da perspectiva do conhecimento, Figura 15. O panorama é fundamental para que um determinado conceito seja representado formalmente em diferentes níveis de representatividade, por exemplo, em um Dicionário Semântico (DS). Nesta investigação, a contribuição para a disponibilização deste panorama é a partir do desenvolvimento do DS, Discurso/Transcrição do Especialista e OWL da ontologia evoluída.

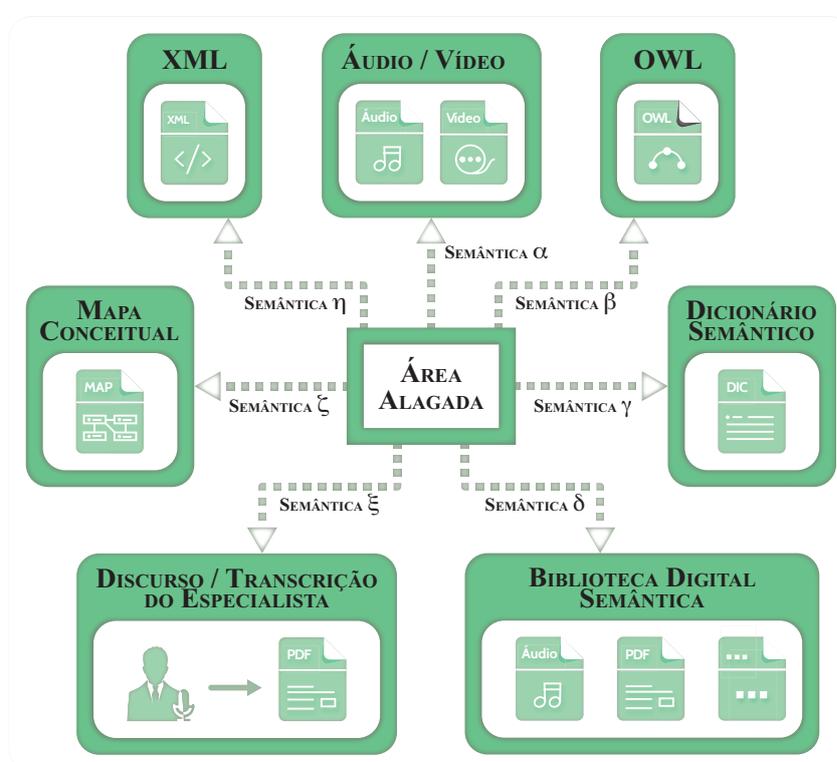


Figura 15 – Perspectiva de ampliação do conhecimento.

Na próxima seção é apresentada uma visão geral do processo de evolução de ontologia utilizado como referência nesta investigação.

4.2 Processo de Evolução de Referência

Para definir o processo de evolução de referência, primeiro foi realizado um levantamento de informações a respeito do domínio de evolução de ontologias. Para isso, foram realizadas investigações da literatura (informal e formal) e a abordagem apresentada no trabalho de (STOJANOVIC et al., 2002), conforme Figura 16, foi escolhida como processo de evolução

de referência. A escolha se deu pelo fato de ser um processo bastante disseminado na comunidade e possuir uma definição clara e consistente das etapas de evolução.

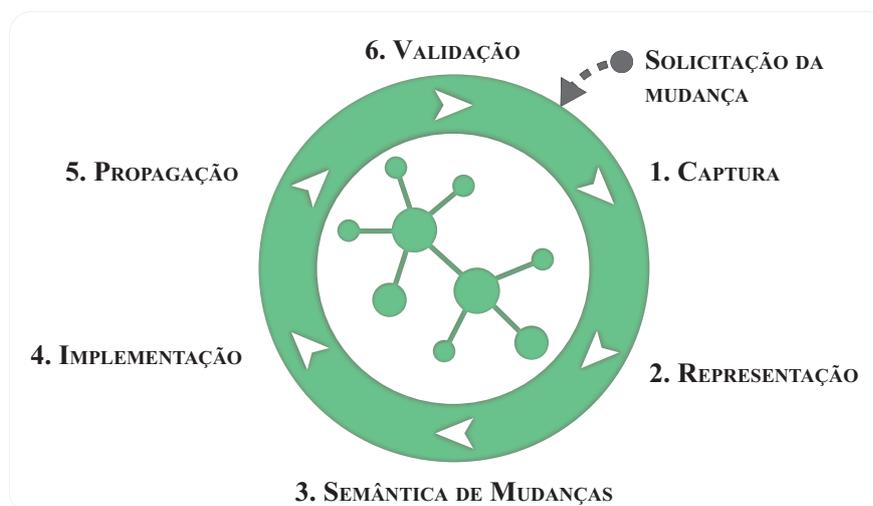


Figura 16 – As seis fases do processo de evolução de ontologia (STOJANOVIC et al., 2002).

1. **Captura:** descoberta e análise do conhecimento que precisa ser comparado com a ontologia;
2. **Representação de Mudança:** para resolver mudanças, elas têm de ser identificadas e representadas num formato adequado;
3. **Semântica de Mudanças:** descobrir quais mudanças elementares precisam ser executadas por uma solicitação de alteração, por exemplo, deleção de um conceito. A aplicação de uma mudança fundamental na ontologia pode induzir inconsistências em outras partes da ontologia. Estas, por sua vez, podem ser distinguidas de sintaxe ou de semântica. Inconsistência na sintaxe surge quando as entidades não identificadas da ontologia e/ou instâncias são usadas, ou restrições do modelo da ontologia são invalidadas. Inconsistência semântica surge quando o significado de uma entidade é alterado devido às mudanças realizadas na ontologia;
4. **Implementação de Mudança:** a fim de evitar a execução de alterações indesejáveis, antes da aplicação de uma mudança para a ontologia, uma lista de todas as implicações para a ontologia deve ser gerada e apresentada ao usuário da ontologia. Ele deve ser capaz de compreender a lista e aprovar ou cancelar a alteração. Quando as alterações são aprovadas, elas são realizadas para resolver sucessivamente as implicações relacionadas à lista. Se as alterações são canceladas, a ontologia permanece intacta;
5. **Propagação de Mudança:** quando a ontologia é modificada, as suas instâncias precisam ser alteradas para preservação de sua coerência. É necessário também

tratar ligações de dependências, caso existam, como por exemplo, outras ontologias ou aplicações que sejam dependentes da ontologia modificada; e

6. **Validação:** corresponde à etapa de análise dos engenheiros de ontologia para com as mudanças implementadas e todo o domínio que está relacionado com as alterações realizadas.

Esta investigação utiliza como base a proposta de (STOJANOVIC, 2004), adaptando-a para a perspectiva desta investigação conforme Figura 17.

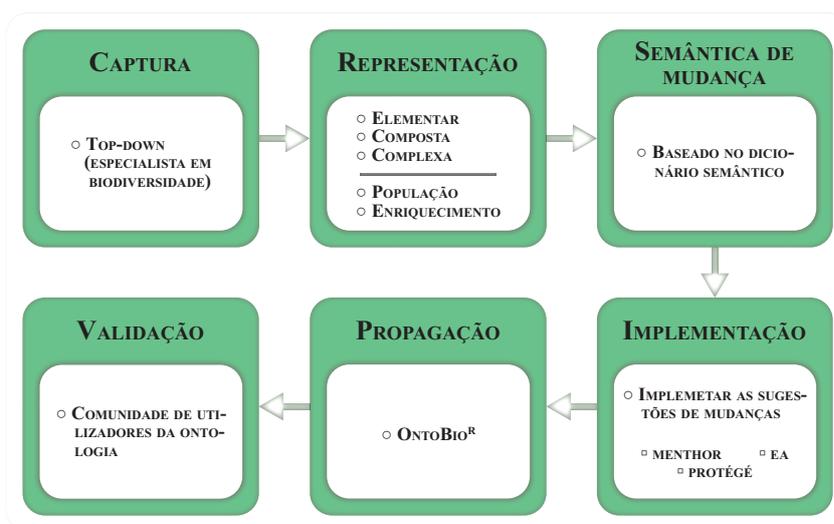


Figura 17 – Adaptação do processo de evolução de referência.

Inicialmente têm-se a etapa de **Captura**, onde o conhecimento do especialista de biodiversidade capturado para ser utilizado na geração das heurísticas responsáveis pelas sugestões de mudança na ontologia, de acordo com a subseção 5.4. Em seguida, na etapa de **Representação**, as sugestões de mudança são representadas de acordo com o modelo de mapeamento proposto na subseção 5.3. A etapa de **Semântica de Mudança** tem como base as informações contidas no Dicionário Semântico (DS). Em seguida as etapas de **Implementação** e **Propagação** são realizadas consecutivamente, onde as sugestões são propagadas para toda a ontologia. Por fim a etapa de **Validação** é feita pela comunidade e utilizadores da ontologia.

Na etapa de **Semântica de Mudança**, esta investigação desenvolveu um DS para ajudar no problema de inconsistência semântica, objetivando a criação de uma descrição mais rica das entidades da OntoBio^R, ou seja, um conhecimento mais profundo sobre o significado dos conceitos fornecidos. No Apêndice C é possível encontrar todos os detalhes do DS.

É importante ressaltar que para esta investigação, na etapa de **Implementação de Mudança**, as mudanças implementadas não são definitivas mas sim para testar as sugestões de mudança propostas. A mudança final será a validada pelo engenheiro de ontologias

e o especialista de domínio. Logo, as mudanças sugeridas nesta investigação servem como orientações para o engenheiro de ontologias na escolha da resolução mais adequada após o processo de evolução.

Em seguida é apresentada a visão geral da estratégia desenvolvida nesta investigação para evolução de ontologias.

4.3 Visão Geral da Estratégia de Evolução de Ontologias

Para definir uma estratégia de evolução que gere sugestões de mudança em ontologias, é necessário que tais sugestões sejam especificadas explicitamente.

Para realizar esse objetivo, a abordagem utilizada nesta investigação considera o *Principle of Primacy of New Information* (FLOURIS; PLEXOUSAKIS; ANTONIOU, 2006) como justificativa da aceitação da veracidade das informações que vem tanto dos Modelos Mentais dos Especialistas (MOEs) (OLIVEIRA, 2016), como das entrevistas com os especialistas do domínio.

Conforme a Figura 18 a estratégia é composta por três etapas:

1. **Etapa 1:** Recebe como requisição um número N tanto de entrevistas com especialista (Entrada 1) como de MOEs (Entrada 2). Na (Entrada 1) as entrevistas com os especialistas geram um conjunto de conhecimento que serve como base para a criação das heurísticas. A (Entrada 2) corresponde aos MOEs. Mais detalhes de funcionamento são apresentados no capítulo 5;
2. **Etapa 2:** Esta etapa divide-se em:
 - a) **Etapa Heurística:** Determinar padrões que podem ser generalizados a partir das entrevistas com os especialistas, ou seja, capturar regras gerais tais como os engenheiros de conhecimento nos sistemas especialistas fazem. As sugestões de mudança desta etapa são geradas com base nestas heurísticas.
 - b) **Etapa Ontológica:** Sugestões de mudança baseadas em análises entre a ontologia e os MOEs. Nesta etapa as sugestões são baseadas nas informações contidas no DS.

As etapas foram criadas para determinar sugestões de mudança em uma determinada ontologia e assim ajudar esta em seu processo de evolução. Ambas as etapas, Heurística e Ontológica, utilizam como suporte para geração de suas sugestões o DS, conforme detalhamento apresentado na subseção 5.2; e

3. **Etapa 3:** Mapeamento e implementação das sugestões criadas na etapa anterior. Um modelo de mapeamento de sugestões é definido para controle e análises futuras, conforme apresentado na subseção 5.3.

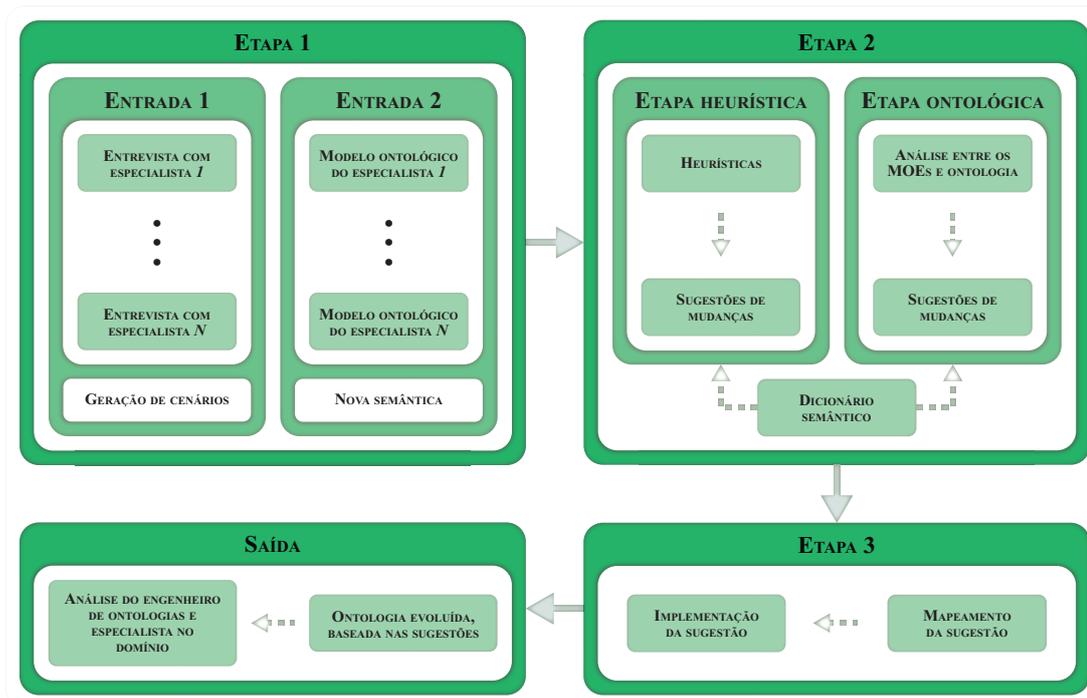


Figura 18 – Visão geral da estratégia para evolução de ontologias.

Com base no que foi descrito anteriormente, esta investigação visa, de forma semi-automática, estabelecer uma estratégia de evolução para ontologias, utilizando com estudo de caso a OntoBio^R. É de interesse, no âmbito da abordagem proposta, a utilização de ontologia em OWL-DL², pois esta inclui toda a semântica formal da lógica de descrição (HORROCKS; PATEL-SCHNEIDER, 2003) e suas capacidades de raciocínio.

Segundo (YIN, 2015), “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.”

O objetivo do estudo de caso é explorar, descrever ou explicar. Esta investigação foi baseada na definição de estudo de caso proposta por (YIN, 2015). A seguir são descritos os componentes da estratégia de evolução utilizando a OntoBio^R como ontologia a ser evoluída.

² OWL-DL fornece máxima expressividade sem que haja perda de completude computacional (é garantido que todas as vinculações serão computadas) e decidibilidade (todos os cálculos terminarão em tempo finito) de sistemas de raciocínio (HORROCKS; PATEL-SCHNEIDER, 2003).

4.4 Estratégia de Evolução Utilizando a OntoBio^R

Considerando o modelo proposto para EC, conforme Figura 6, que objetiva elicitare formalizar o conhecimento tácito especialista, o processo de sugestão de mudança aqui desenvolvido se divide em duas etapas: Heurística e Ontológica, conforme Figura 19.

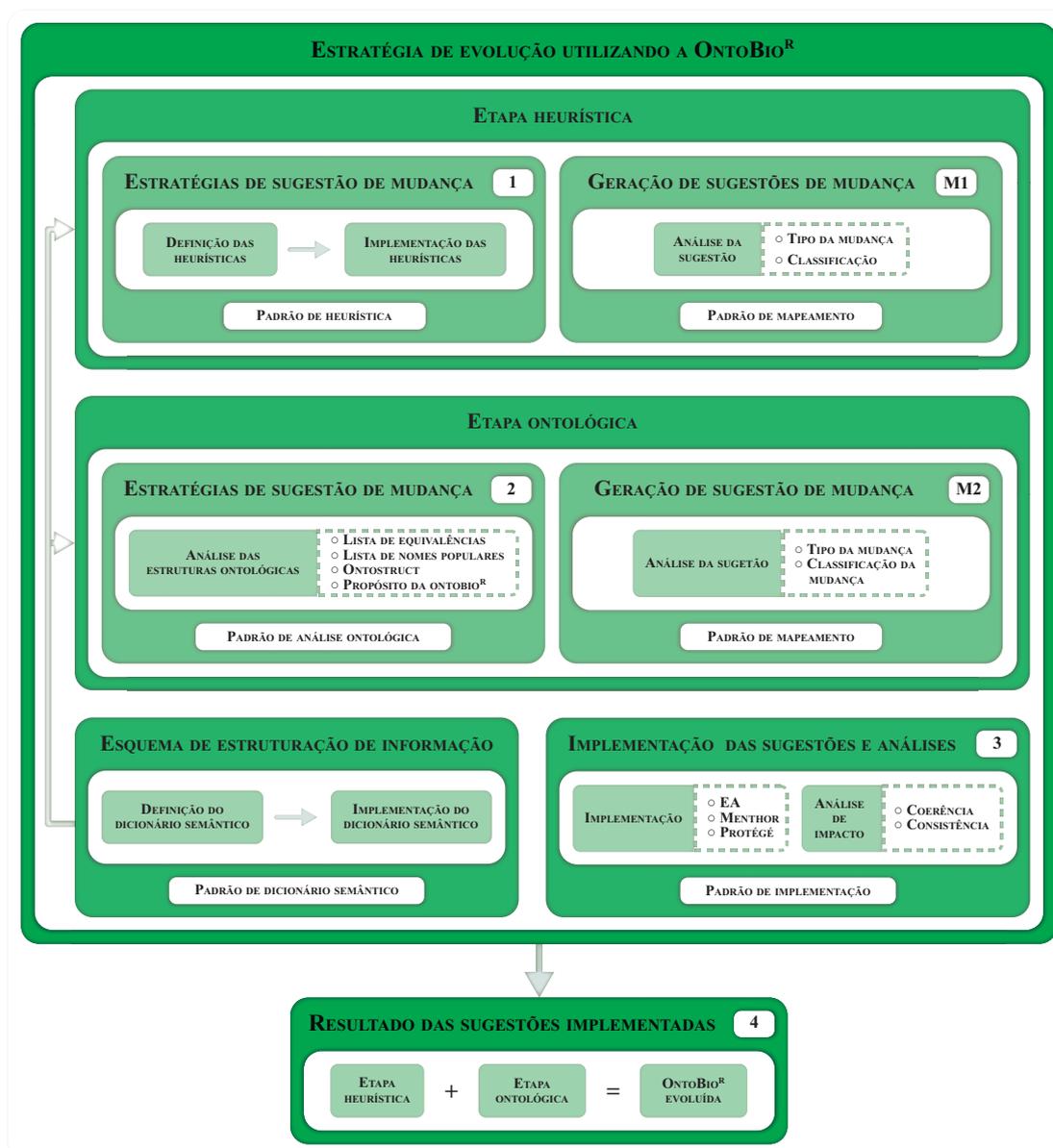


Figura 19 – Estratégia de evolução utilizando a OntoBio^R.

Inicialmente na etapa heurística são estipulados cenários baseados no conhecimento do especialista do domínio. Estes cenários servem de base para a criação das heurísticas. Em seguida, as heurísticas são implementadas (Figura 19 (1)). É possível perceber que nesta etapa a demanda para mudanças na OntoBio^R é especificada a partir dos resultados das heurísticas, conforme demonstrado na subseção 5.4.

O processamento das heurísticas utilizam como suporte as informações contidas nas

seguintes estruturas:

1. **OntoStruct:** conjunto de dados referente a composição da OntoBio^R;
2. **Lista de Equivalências:** conjunto de dados sobre equivalências semântica de conceitos no domínio de biodiversidade; e
3. **Lista de Denominação Popular:** conjunto de dados sobre denominações populares de conceitos no domínio de biodiversidade.

Na subseção 5.4 estas estruturas serão descritas com mais detalhes.

Com o resultado das heurísticas são geradas as sugestões de mudança, assim como suas classificações de acordo com seu tipo (Figura 19 - **M1**).

Na etapa ontológica as estratégias de sugestões são geradas a partir de análises ontológicas. A OntoBio^R é analisada frente aos MOEs.

Para as análises ontológicas, as estruturas OntoStruct, Lista de Equivalências e Lista de Denominação Popular são também utilizadas. Além destas, mais uma informação é levada em consideração nas análises, o propósito da OntoBio^R (Figura 19 - **2**). Ele é fundamental para separar as informações que não pertencem ao escopo de criação da OntoBio.

Com o resultado das análises são estipuladas as sugestões de mudança, assim como suas classificações de acordo com seu tipo (Figura 19 - **M2**).

O esquema de estruturação de informação (Figura 19 - **3**) é utilizado como suporte tanto para etapa Heurística como a Ontológica. Sua criação é necessária para o processo de evolução e seu desenvolvimento compreende a criação do DS, conforme será detalhado na subseção 5.2. O DS contém a semântica das informações que são representadas pela ontologia, no caso a OntoBio^R, e serve de base para todo o processo de evolução.

Na etapa de implementação, as sugestões são implementadas na OntoBio^R (Figura 19 - **4**). A implementação segue uma sequência de execução utilizando as ferramentas Enterprise Architect³ (EA), Menthor⁴ e Protégé⁵, respectivamente, como demonstrado na subseção 5.6. Análises de consistência e coerência são sempre presentes durante a implementação das sugestões na OntoBio^R.

A OntoBio^R evoluída é o resultado após as sugestões serem implementadas (Figura 19 - **5**). As modificações realizadas devem ser analisadas pelo o engenheiro de ontologias e o especialista no domínio. Toda ontologia deve ser validada pela comunidade que a utiliza, seja uma aplicação, ou grupos de pesquisa, usuários, entre outros. Isso corresponde a uma validação baseada no objetivo principal de criação da ontologia, a OntoBio por exemplo,

³ <<http://www.sparxsystems.com.au/products/ea/>>.

⁴ <<http://www.menthor.net/code-generation.html>>.

⁵ <<http://protege.stanford.edu>>.

foi criada para prover uma conceitualização clara e precisa dos aspectos considerados em coletas de dados de biodiversidade independentes de uma aplicação específica.

4.5 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os componentes da estratégia de evolução proposta nesta investigação. A estratégia permite a criação de sugestões de mudança para ontologias. No próximo capítulo a estratégia será instanciada utilizando como estudo de caso a OntoBio^R. A gestão destas sugestões de mudança possibilitam:

1. Declaração explícita das sugestões de mudança (fase de representação, Figura 17);
2. Análise de coerência e consistência após a implementação das sugestões; e
3. Criação de um DS que serve de suporte para a geração e análise das sugestões de mudança.

A principal contribuição desta estratégia é desenvolver uma abordagem para evolução de ontologia que utiliza o conhecimento tácito do especialista de domínio. A abordagem se baseia na criação de sugestões de mudança, sendo definidas através de um processo metodológico.

A descrição detalhada da implementação é demonstrada no próximo capítulo.

5 Implementação da Estratégia para Evolução de Ontologias

Este capítulo descreve a implementação de todos os componentes que compõem a estratégia proposta para evolução de ontologias, utilizando como estudo de caso a OntoBio^R.

5.1 Introdução

Após a definição da estratégia para evolução de ontologias, passamos a sua implementação, utilizando como base a própria OntoBio^R, as entrevistas com os especialistas e os Modelos Ontológicos dos Especialistas (MOEs) que representam as visões dos especialistas do domínio. Com as informações dos MOEs e das entrevistas com os especialistas é possível definir contextos que podem ser generalizados e utilizados como sugestões de mudança para a ontologia.

5.2 Dicionário Semântico (DS)

A OntoBio inicial não possuía um DS que representasse as informações contidas em sua estrutura. Para implementação da estratégia de evolução proposta a criação de um DS é pré-requisito.

O DS é um esquema de anotação fundamental para a criação das sugestões de mudança para a OntoBio^R. O DS desenvolvido é específico para o domínio de biodiversidade e compreende as informações pertencentes a OntoBio^R. Logo, se a estratégia de evolução apresentada aqui for replicada para um domínio diferente, um novo DS deverá ser desenvolvido conforme as especificidades do domínio que se deseja representar.

O DS serve de documentação adicional para ajudar no problema de desambiguação semântica das entidades da OntoBio^R. Assim, ele traz uma descrição rica com determinação semântica do papel das entidades da OntoBio^R (STOJANOVIC et al., 2002).

O DS é definido a partir de um conjunto de informações, dentre elas:

1. **Contextualização:** informações-base sobre o significado semântico do conceito;
2. **Formalização:** formalização do conceito, baseado na linguagem OntoUML;
3. **Propriedade:** propriedades, caso existam, pertencentes a um conceito na ontologia;

4. **Equivalência:** informações que possuem a mesma semântica porém com sintaxe diferente; e
5. **Denominação Popular:** informações diversidade de termos populares para definir um conceito.

Todas as informações representadas no DS são de fundamental importância para a geração e análise das sugestões de mudança. No Apêndice C é possível observar todas as informações pertencentes ao DS da OntoBio^R.

5.3 Modelo de Mapeamento para Sugestões de Mudanças

A criação de um mapeamento para as sugestões de mudança é uma maneira de auxiliar o entendimento de tais sugestões. O mapeamento contém informações importantes sobre as sugestões e serve de apoio para sua utilização. Um modelo de mapeamento é definido para esta investigação, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Modelo de mapeamento para sugestão de mudança.

Modelo de Mapeamento para Sugestão de Mudança	
ID	Identificação textual única, correspondendo a uma sigla composta pelo tipo da etapa que gerou a sugestão: Heurística (H) ou Ontológica (O) + número sequencial.
Problema Abordado	Descrição do cenário que originou a sugestão.
Objetivo da Sugestão	Resultado esperado após a aceitação da sugestão.
Tipo da Evolução	Determinar se a sugestão oferece uma evolução do tipo Populacional ou de Enriquecimento.
Classificação da Mudança	Determinar se as sugestões são classificadas como Elementares, Compostas ou Complexas.
Classes Afetadas	Identifica as classes da ontologia que serão afetadas com a sugestão de mudança.
Propriedades Afetadas	Identifica as propriedades da ontologia que serão afetadas com a sugestão de mudança.
Indivíduos Afetados	Identifica os indivíduos da ontologia que serão afetados com a sugestão de mudança.
Axiomas Afetados	Identifica os axiomas da ontologia que serão afetados com a sugestão de mudança.
Comentários	Informações adicionais que podem ser úteis para o entendimento da sugestão de mudança.

5.4 Etapa Heurística

Heurística, Heurética ou “ars inveniendi” era o nome de um ramo de estudo, não bem delimitado, pertencente à lógica, à Filosofia ou à Psicologia, muitas vezes delineado mas

raramente apresentado com detalhes, hoje praticamente esquecido. O objetivo da Heurística é o estudo dos métodos e das regras da descoberta e da invenção. A heurística modera procura compreender o processo solucionador de problemas (POLYA, 1978).

Nesta investigação heurísticas são desenvolvidas para ajudar no processo de evolução de ontologias, sendo uma estratégia de formalizar um conhecimento sobre elementos que estão representados na ontologia, onde estes podem ou não virem a alterar esta ontologia. Logo, as heurísticas funcionam como um conjunto de verificações para identificar se uma determinada ontologia deve evoluir, elas contribuem a partir da criação de sugestões de mudança para a ontologia. Estas sugestões são fundamentais, pois contemplam onde determinado conhecimento pode ou deve ser incluído na estrutura ontológica.

Para esta investigação desenvolve-se heurísticas para o domínio de biodiversidade, pois o estudo de caso, para validar a estratégia de evolução proposta, é a ontologia OntoBio^R. Caso uma determinada ontologia, de domínio diferente, venha a utilizar a estratégia de evolução aqui proposta é necessário que novas heurísticas sejam desenvolvidas, ou seja, heurísticas que correspondam ao domínio de representação da ontologia. As heurísticas aqui desenvolvidas surgiram a partir das informações coletadas durante entrevistas com especialistas de biodiversidade e são utilizadas como estratégias para resolver problemas¹.

O objetivo das heurísticas correspondem a geração de sugestões de mudança na OntoBio^R, onde estas podem impactar em conceitos, atributos, axiomas, indivíduos, entre outros. As heurísticas possibilitam ao engenheiro de ontologias uma alternativa de sugestão para evoluir a OntoBio^R, logo é necessário que este analise as possíveis sugestões e decida quais delas serão implementadas e utilizadas. Além disso, as heurísticas possibilitam a criação de uma base de conhecimento para a geração das sugestões. Esta base serve para novas análises que engenheiros de ontologias queiram realizar utilizando tanto a OntoBio^R quanto outras ontologias que sejam de domínios equivalentes. No Apêndice B Heurísticas é possível encontrar todas as heurísticas desenvolvidas nesta investigação e todas as sugestões que elas identificam, com objetivo de ajudar no processo de evolução da ontologia.

O processo inicial das heurísticas compreende a identificação de cenários de informações de biodiversidade, como por exemplo:

1. **Cenário de Resposta de Fuga:** Esse cenário foi mapeado a partir da transcrição de entrevista com o especialista do domínio (Pesquisador). O ponto de marcação na transcrição responsável para criação do cenário foi:
 - a) *“A eficiência entre pessoas varia muito, uns coletam bem e outros quase nada em um mesmo local. Isso é um reflexo direto do quanto você conhece do comportamento do peixe. Então, se a pessoa sabe a **resposta de fuga** do peixe ela*

¹ Uma heurística pode ser definida com um algoritmo que encontra um solução factível, não necessariamente a melhor solução, para um determinado problema com uma determinada função objetivo, num tempo computacional razoável (DIAZ et al., 1996).

consegue prever o que ele vai fazer e interceptar o caminho dele, e isso é com o tempo também.”

2. **Cenário de Perturbação Ambiental:** Esse cenário foi mapeado a partir de análises no artigo *Feeding Ecology of Fishes in the Brazilian Amazon A Naturalistic Approach*, fornecido pelo especialista no domínio (Pesquisador). O ponto de marcação do artigo responsável para criação do cenário foi:

a) *“Estes ambientes aquáticos frágeis, de baixa produtividade estão sendo submetidos a forte **perturbação ambiental**, derivado principalmente do desmatamento de grandes áreas para a agricultura, pasto, e crescimento urbano.”*

3. **Cenário de Estratégia de Conservação:** Esse cenário foi mapeado a partir de análises no artigo *Feeding Ecology of Fishes in the Brazilian Amazon A Naturalistic Approach*, fornecido pelo especialista no domínio (Pesquisador). O ponto de marcação do artigo responsável para criação do cenário foi:

a) *“A presença de muitas espécies endêmicas nas corredeiras também apontam para a necessidade, em especial de **estratégias de conservação**, uma vez que estas áreas são altamente ameaçadas pela construção de usinas hidrelétricas na Amazônia brasileira.”*

O conhecimento adquirido na criação nos cenários de informações de biodiversidade podem ser mapeados e utilizados diretamente como sugestões de mudança, porém esse conhecimento ficaria apenas com o desenvolvedor dos cenários e engenheiros de ontologias. Logo, a implementação destes torna-se útil para a utilização de outros usuários, principalmente aqueles que não possuem as informações-base para criação dos cenários de informação. Assim, as heurísticas tem como objetivo a geração de sugestões de mudança para ontologias do domínio de biodiversidade e como estudo de caso utilizou-se a ontologia OntoBio^R. A Figura 20 destaca a aplicação das sugestões de mudança na sub-ontologia Classificação Taxonômica pertencente a OntoBio^R. Tais sugestões advêm da heurística **Resposta de Fuga**, apresentada a seguir.

Na heurística **Resposta de Fuga** é sugerido a inserção de um atributo para representar as características comportamentais do indivíduo, tal como *Resposta de fuga*. A OntoBio^R não possui em sua representação um conceito com esse propósito Figura 20(a), e este representa características importantes para o domínio representado, logo foi inserido na estrutura Figura 20(b). Com isso, qualquer instância da Classe **Espécie** poderá ter suas características comportamentais do tipo **Resposta de fuga** representadas, por exemplo, a instância *Lamprella gibbosa* da Classe **Espécie** tem como valor do atributo **Resposta de fuga** a informação: "chegar por traz e por baixo, levantar os galhos que eles estão todos lá". A partir desta informação é possível representar a forma específica do comportamento do indivíduo quando este está ameaçado e tenta fugir.

Algoritmo 1 H03

```

procedure TRATAR A INFORMAÇÃO RESPOSTA DE FUGA.
  if varInput = String “resposta* de fuga*” +  $\alpha$  || String  $\beta$  + “estrategia* de fuga*” + String  $\beta$  e “resposta* de fuga*” e/ou “estratégia* de fuga*”  $\notin$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq e/ou  $\notin$  ListNp then
3:   return varOut =
      “Sugestão 01: Analisar criação de Classe ou atributo que represente as características comportamentais do indivíduo. Ex: Classe: Atividade comportamental, com a subclasse Resposta de fuga. A Classe Atividade comportamental deverá ter um relacionamento com a Classe que represente o conceito de Espécie; Atributo (Resposta de fuga) que pertença a Classe que represente o conceito de Espécie. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
  else if varInput = String “resposta* de fuga*” ou “estrategia* de fuga*”  $\in$  OntoStruct e/ou  $\in$  ListEq e/ou  $\in$  ListNp then
6:   return varOut =
      “Sugestão 01: A informação Resposta* de Fuga* e/ou Estratégia* de Fuga* se encontra(encontram) na (ListEq: representa a informação  $\alpha$  || ListNp: representa a informação  $\alpha$  ou OntoStruct: representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
      else
9:   return varOut =
      “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

A outra sugestão da heurística **Resposta de Fuga** é que ao invés de um atributo para representar as características comportamentais, uma Classe seja criada para representar estas características. Onde a Classe **Atividade comportamental** seria criada e teria a subclasse **Resposta de fuga**. Assim, poderiam ser instanciadas as várias respostas de fuga que correspondem ao aspecto comportamental de fuga do indivíduo. Caso esta sugestão seja implementada é necessário a criação de uma relação entre a Classe **Atividade comportamental** com a Classe que represente o conceito de Espécie Figura 20(c).

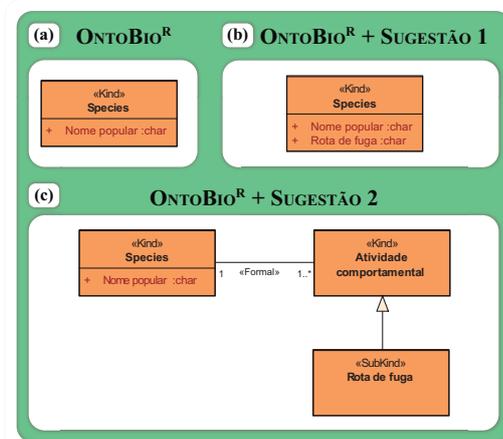


Figura 20 – Implementação das sugestões de mudança da H03 na OntoBio^R.

No Apêndice, B, é possível encontrar todas as heurísticas desenvolvidas nesta investigação. Para o processamento das heurísticas, três conjuntos de dados são utilizados como base de informações, dentre eles:

1. **OntoStruct:** conjunto de dados referente a composição da OntoBio^R;
2. **Lista de Equivalências:** conjunto de dados sobre equivalência semântica de conceitos no domínio de biodiversidade; e
3. **Lista de Denominação Popular:** conjunto de dados sobre denominações populares de conceitos no domínio de biodiversidade.

Estes conjuntos de dados estão dispostos em arquivos no formato *.txt*², conforme apresentado no Apêndice F.

Para a implementação das heurísticas, foi utilizada a linguagem de programação Java³ na versão 1.8 64 bits, a IDE de programação Netbeans⁴ na versão 8.1. A utilização das heurísticas ocorre a partir do programa OntoSys, com a execução do arquivo Heuristica-OntoBio.jar⁵, conforme demonstrado na Figura 21.

Como forma de demonstrar como as heurísticas podem ser utilizadas, onde diferentes cenários podem ser testados, foi desenvolvido um programa chamado **OntoSys**. O programa **OntoSys** tem uma interface simples, possui um campo de texto para entrada de dados, onde sentenças em forma de texto sobre informações de biodiversidade podem ser inseridas, conforme apresentado na Figura 21. Estas sentenças são informações estipuladas, por exemplo pelo engenheiro de ontologia, com intuito de saber se há alguma sugestão já estipulada para tal informação, ou se simplesmente esta já está contemplada na ontologia, Figura 22.

Vale ressaltar que algumas restrições são estipuladas com relação a entrada de dados no programa, tais como: limite de caracteres, não permitir palavras repetidas e não considerar artigos e preposições como palavras a serem analisadas.

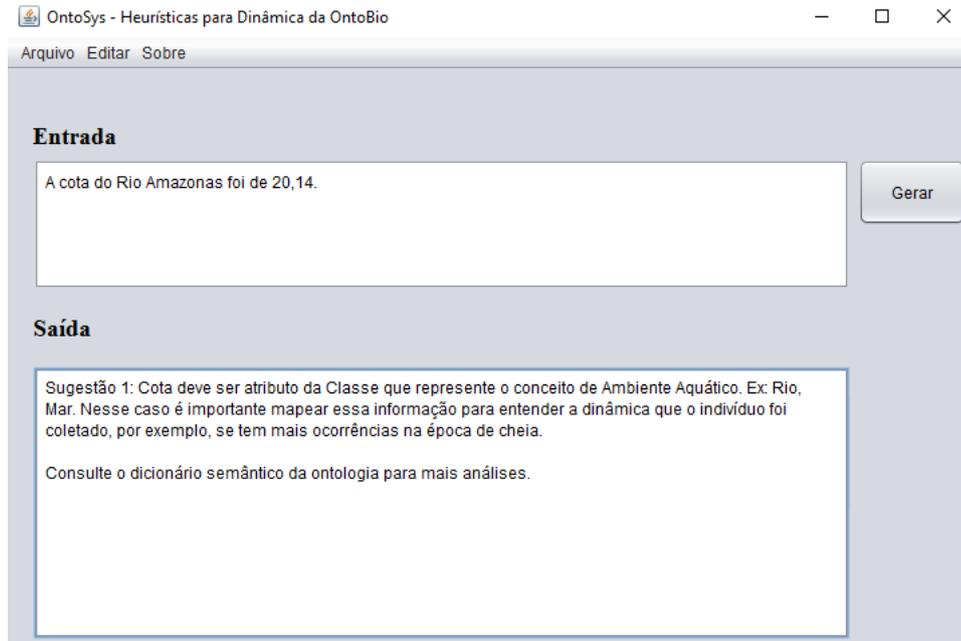
Como saída, o **OntoSys** pode apresentar sugestões de mudança, conforme apresentado na Figura 21. Vale ressaltar que consultas na base de informação do **OntoSys** são sempre realizadas, pois mesmo que não exista uma heurística definida para tratar informações

² *.txt* é uma extensão para arquivos de texto que consiste geralmente em formatação simples (ex: sem negrito ou itálico). A definição precisa do formato não é especificada, mas normalmente coincide com o formato aceito pelo sistema terminal ou simples editor. Arquivos com a extensão *.txt* podem ser facilmente lidos ou abertos por qualquer programa que lê texto e, por esta razão, são considerados universais (ou plataforma independente) (DALE; LEWIS, 2007).

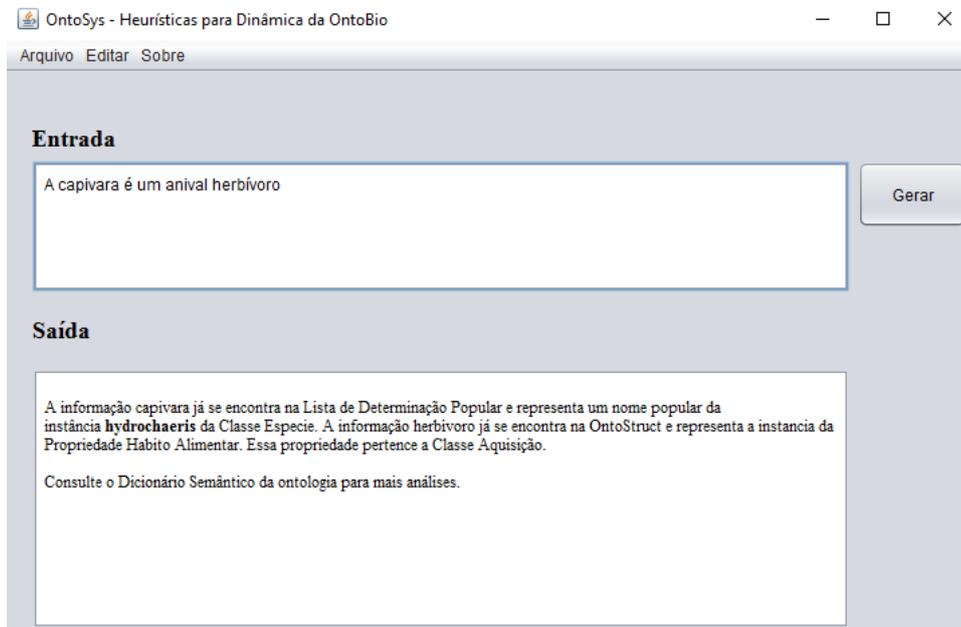
³ A linguagem de programação java é uma linguagem de programação de propósito geral, orientada a objeto, baseada em classe e especificamente desenhada para ter o mínimo possível de implementação de dependências (GOSLING, 2000).

⁴ <<http://netbeans.org>>.

⁵ Em software, JAR (Java ARchive) é um arquivo compactado usado para distribuir um conjunto de classes Java, um aplicativo java, ou outros itens como imagens, XMLs, entre outros. É usado para armazenar classes compiladas e metadados associados que podem constituir um programa (GOSLING, 2000).

Figura 21 – Exemplo de utilização do programa **OntoSys**.

específicas, o **OntoSys** verifica se as sentenças fornecidas na entrada de dados já não estão presentes na estrutura da OntoBio^R, Figura 22.

Figura 22 – Programa **OntoSys** – Informação já contemplada na OntoBio^R.

Uma saída também é apresentada pelo **OntoSys** caso não exista nenhuma heurística desenvolvida para tratar uma determinada entrada de informação, Figura 23.

Caso o engenheiro de ontologias deseje alterar os conjuntos de informações base utilizados pelo programa, basta acessá-los pelo menu de navegação (**Editar**), conforme de-

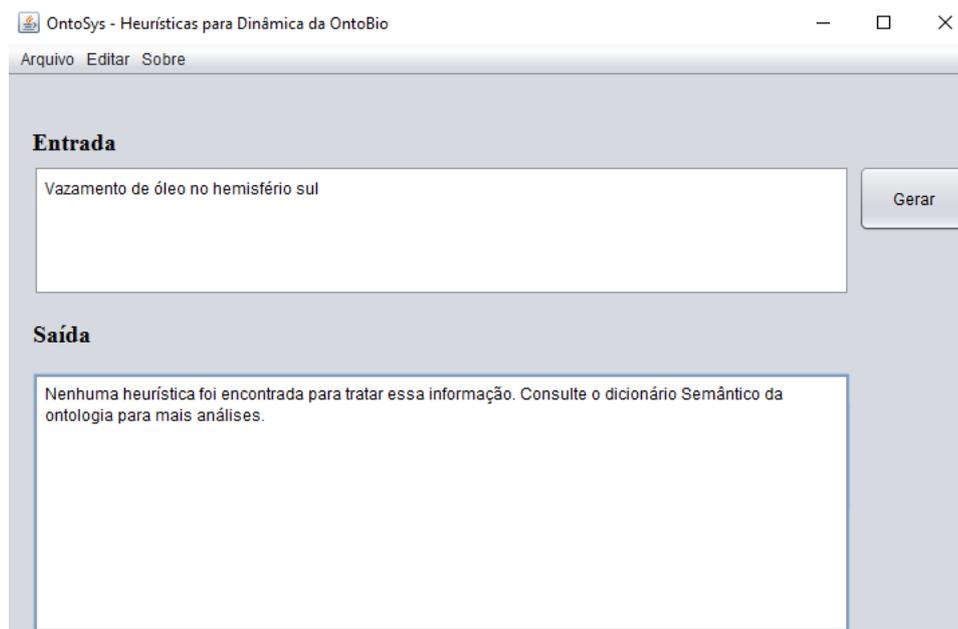


Figura 23 – Programa **OntoSys** – Não há heurística para tratar essa entrada de informação.

monstrado na Figura 24.

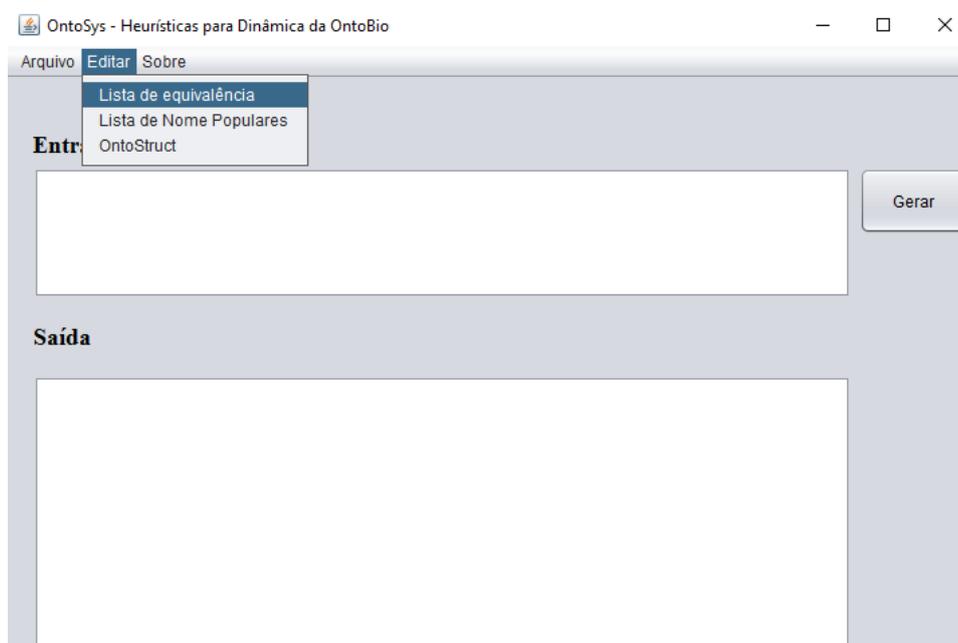


Figura 24 – Programa **OntoSys** – Menu de navegação.

É importante sempre consultar o DS para mais análises e verificações das informações contidas na OntoBio^R. No DS encontram-se informações sobre a semântica das entidades, o que contribui para uma melhor análise das sugestões fornecidas pelo **OntoSys**.

O programa OntoSys foi desenvolvido com intuito de automatizar a utilização das heurísticas. Logo, outras ontologias de domínios similares ao da OntoBio^R poderão fazer

uso do programa. Caso seja um domínio diferente novas heurísticas baseadas no conhecimento de especialistas devem ser criadas. É importante ressaltar que é fundamental o povoamento do OntoSys com novos mapeamentos de cenários de biodiversidade, ou seja novas heurísticas, além de informações sobre a ontologia a ser evoluída. Isso dá ao **OntoSys** maior capacidade de sugestões de mudança, além de estabelecer mais opções para o engenheiro responsável pela ontologia.

Em seguida a Figura 25 destaca o fluxo de execução que o **OntoSys** realiza para gerar sugestões de mudança para a ontologia.



Figura 25 – Fluxo de Execução do **OntoSys**.

Por fim, todas as sugestões de mudança criadas nesta etapa foram mapeadas conforme o modelo de mapeamento definido na subseção 5.3 e se encontram no Apêndice D.

5.5 Etapa Ontológica

Diferente da etapa heurística, o processo de análise ontológica é uma etapa totalmente manual, onde a OntoBio^R é comparada com os MOEs.

Para esta etapa são utilizadas as estruturas: **OntoStruct**, **Lista de Denominação Popular** e **Lista de Equivalências**. Estas estruturas funcionam como critérios delimitadores para escolher as sugestões de mudança. Além destas estruturas é considerado o objetivo de construção da OntoBio, pois tem como propósito: “prover uma conceitualização clara e precisa dos aspectos considerados em coletas de dados de biodiversidade independentes de uma aplicação específica” (ALBUQUERQUE, 2011).

Nas Figuras 26 e 27 são mostrados partes dos MOEs e sua aplicação na OntoBio^R. Para um melhor entendimento, é mostrada a parte original da OntoBio^R do lado direito e a parte do MOE baseado na OntoBio^R do lado esquerdo. Vale ressaltar que os MOEs completos são detalhados no trabalho de (OLIVEIRA, 2016).

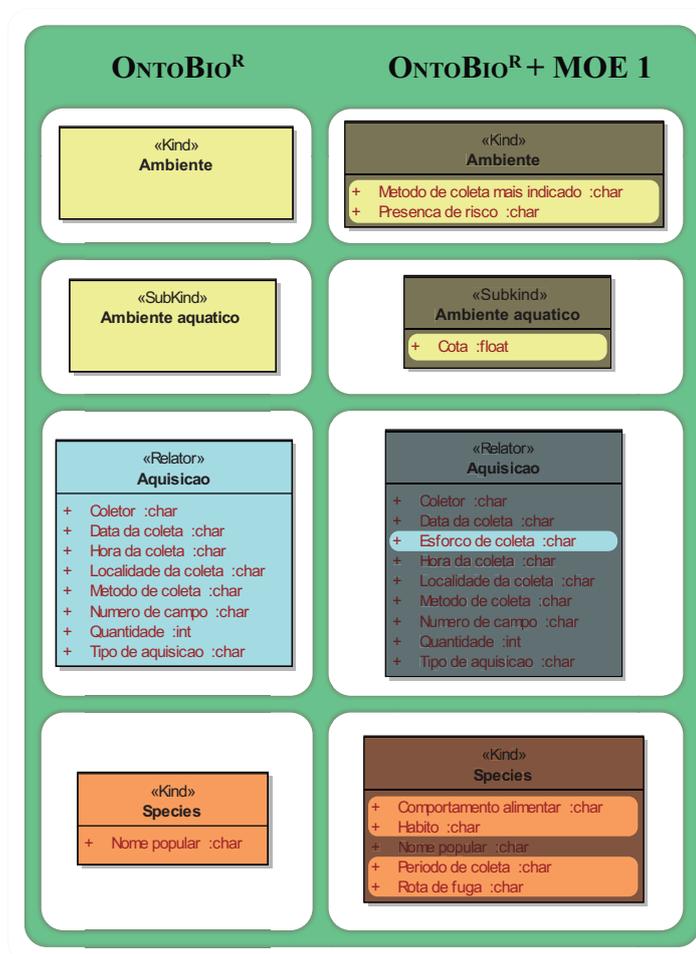


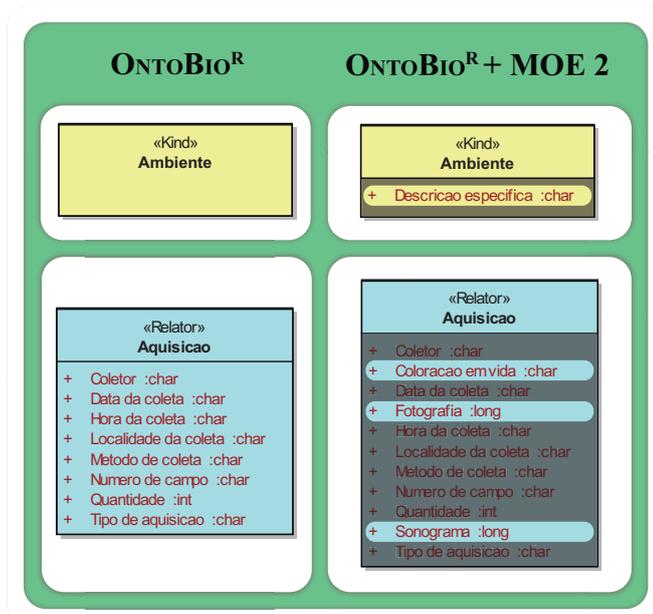
Figura 26 – MOE (1) baseado na OntoBio^R.

O MOE (1) gerou mudanças no que diz respeito a novos atributos para a OntoBio^R. Todos os atributos sugeridos estão de acordo com os critérios de análises ontológicas propostos na Tabela 5.

O MOE (2) gerou também mudanças no que diz respeito a novos atributos para a OntoBio^R. Todos os atributos sugeridos estão de acordo com os critérios de análises ontológicas propostos na Tabela 5.

De posse dos MOEs e da OntoBio^R foi possível realizar as análises ontológicas para então estipular as sugestões de mudança. As análises são baseadas de acordo com os critérios apresentados na Tabela 5. Tais critérios devem ser seguidos de acordo com sua ordem numérica.

Assim como na etapa heurística, as sugestões definidas nesta etapa são também ma-

Figura 27 – MOE (2) baseado na OntoBio^R.

peadas segundo o modelo apresentado na Subseção 5.3 e se encontram no Apêndice E.

5.6 Aplicação das Sugestões na OntoBio^R

Com as sugestões de mudança estipuladas, torna-se possível aplicá-las na OntoBio^R e verificar se estas não geram algum tipo de inconsistência ou incoerência. Para tal, inicialmente é utilizada a ferramenta EA⁶ para alterar a modelagem conceitual. Para esta modelagem é necessário também o uso do plugin EA⁷. Esse plugin possibilita a utilização dos estereótipos da linguagem OntoUML, sendo que esta foi a linguagem de modelagem conceitual utilizada para modelar a OntoBio^R.

Após a alteração na modelagem conceitual, utilizou-se a ferramenta Menthor, na versão 1.0.2, para realizar verificações sintáticas tanto no modelo como nas *constraints*. No próprio Menthor é possível verificar a consistência do modelo através de *reasoners*⁸. Uma análise detalhada sobre *reasoners* é encontrada no trabalho de (ABBURU, 2012). Em seguida foi utilizada a ferramenta Protégé⁹, na versão 5.0.0-beta-17, para instanciar as classes e propriedades da OntoBio^R. A OntoBio^R e a OntoBio^R evoluída, passaram por esse processo e estas não possuem inconsistências e incoerências, até o momento.

É importante ressaltar que tanto os engenheiros de ontologias como os especialistas

⁶ <<http://www.sparxsystems.com.au/products/ea/>>.

⁷ <<https://github.com/MenthorTools/ea-plugin>>.

⁸ Um *reasoner* é um programa que infere consequências lógicas a partir de um conjunto de fatos explicitamente confirmados ou axiomas e normalmente fornece suporte automatizado para tarefas de raciocínio, tais como classificação, depuração e consulta (DENTLER et al., 2011).

⁹ <<http://protege.stanford.edu>>.

Tabela 5 – Critérios para análise ontológica.

Critério de análise Ontológica 1 Faz parte do objetivo de construção da OntoBio?	Caso não faça parte, não é definido como sugestão de mudança e nem é necessário análises de outros critérios.
Critério de análise Ontológica 2 Já está contemplado na OntoStruct?	1 ^o Caso: não faz parte da OntoStruct. Deve seguir para o próximo critério. 2 ^o Caso: faz parte da OntoStruct, nesse caso deve-se analisar sua semântica. Para isso deve-se utilizar o DS. Caso o sentido seja o mesmo, não é definido como sugestão de mudança. Se o sentido for diferente, uma análise com o engenheiro de ontologia e especialista no domínio torna-se necessária para então seguir com os outros critérios de análises.
Critério de análise Ontológica 3 Já está contemplado na Lista de Denominação Popular?	1 ^o Caso: é contemplado, logo não é definido como sugestão de mudança e nem é necessário análises de outros critérios. 2 ^o Caso: Não é contemplado. Deve seguir para o ultimo critério de análise.
Critério de análise Ontológica 4 Já está contemplado na Lista de Equivalências?	1 ^o Caso: é contemplado, logo não é definido como sugestão de mudança. 2 ^o Caso: não é contemplado. Deve-se definir como sugestão de mudança.

no domínio podem mudar as sugestões implementadas, pois esta investigação propõe a geração das sugestões. A escolha de implementá-las na ontologia fica designada aos responsáveis pela manutenção e utilização da ontologia. Nesta investigação, as sugestões foram implementadas para se detectar inconsistências e de incoerência. As heurísticas que possuem mais de uma opção de sugestão de mudança, como o caso da Heurística 4, foram também verificadas e nenhuma gerou inconsistência ou incoerência na ontologia.

Após a implementação de qualquer sugestão, seja esta proposta pela etapa heurística ou ontológica, é necessário que os conjuntos de dados **OntoStruct**, **Lista de Equivalências** e **Lista de Denominação Popular** sejam atualizados para comportar as mudanças realizadas na ontologia e assim, quando um novo ciclo de sugestões for realizado, os dados pertencentes à ontologia são considerados.

No Apêndice G encontram-se a Figura 38 que corresponde ao modelo conceitual da OntoBio, a Figura 39 que corresponde ao modelo conceitual da OntoBio^R e a Figura 40 que corresponde ao modelo conceitual da OntoBio^R após as sugestões de mudança serem aplicadas.

5.7 Considerações Finais do Capítulo

Segundo (GUARINO; OBERLE; STAAB, 2009) validação de ontologia é geralmente a única maneira de garantir codificação correta do conhecimento na ontologia. As abordagens de validação requerem a estreita cooperação de especialistas de domínio e engenheiros de ontologias. Na maioria das vezes a validação não pode ser executada automaticamente. Neste estudo de caso particular no domínio de biodiversidade, verificou-se que após as sugestões serem aplicadas é necessário que o engenheiro de ontologias e o especialista do domínio validem o modelo.

É importante ressaltar que durante todo o processo de desenvolvimento desta investigação a interferência de especialistas no domínio foi essencial, visto que a complexidade do domínio é grande, o que gera diversas dúvidas em seu entendimento. Logo, está inserido em um ambiente que possibilite acesso a tais especialistas é primordial.

Foi possível perceber que em um processo de evolução de ontologias não há como desenvolver todas as etapas de forma automática. A intervenção do engenheiro de ontologias e do especialista no domínio é sempre um ponto chave para o bom desenvolvimento da ontologia. Esta intervenção é principalmente favorável quando diferentes visões de um mesmo domínio entram em conflito. É possível perceber também que as sugestões baseadas no conhecimento do especialista no domínio são criadas com maior abrangência de conhecimento no domínio modelado. É o caso, por exemplo, da sugestão heurística presente na Tabela 7 do Apêndice B.

Nesta sugestão, o conceito **Alimento** e a propriedade **Hábito Alimentar** são sugeridos como Classe da OntoBio^R. Isso ocorre com objetivo de capturar um dos cenários apresentados por especialistas de biodiversidade, onde um determinado indivíduo pode aderir a uma alimentação incomum em um determinado momento. Existem diversos fatores para contribuir com esse cenário, dentre eles: intervenção humana, impactos ambientais, sazonalidade, entre outros. Logo, estipular uma representação ontológica que permita a inferência de quais alimentos fazem parte do hábito alimentar de um indivíduo é fundamental para ajudar a entender o funcionamento da dinâmica do ambiente o qual o indivíduo está inserido.

Vale ressaltar que se a estratégia, aqui desenvolvida e aplicada para evolução de uma ontologia do domínio de biodiversidade for utilizada para evoluir uma ontologia de domínio diferente é necessário que: Os componentes (DS, MOEs, heurísticas) da estratégia sejam baseados em informações do domínio em questão, além de realizar o processo de capturar do conhecimento tácito dos especialistas deste domínio. Esta captura é importante pois os elementos instigadores da estratégia de evolução são justamente os conhecimentos tácitos dos especialistas do domínio em questão, logo mapear o modelo mental deles corresponde a aquisição das informações necessárias para a utilização da estratégia de

evolução desenvolvida nesta investigação.

A ontologia utilizada como estudo de caso nesta investigação, após passar pela estratégia de evolução, se tornou mais adequada para cenários da realidade do domínio de biodiversidade, como por exemplo, conseguir representar informações relacionadas a características comportamentais de indivíduos, como a resposta de fuga. Esta informação é útil para entender o comportamento do animal quando ameaçado por algum predador e assim prever sua ação, ajudando na sua interceptação. Além disso, a ontologia passou por uma validação da sua linguagem de construção (OntoUML) e de sua consistência (*reasoners*), o que gerou uma ontologia menos propensa a erros. Logo, é possível perceber que a ontologia evoluída possui mais informações representadas com cenários reais da biodiversidade. Isso ocorre porque tais informações foram extraídas de especialistas do domínio.

Por fim, uma incipiente contribuição desta investigação foi mapear, através de heurísticas, elementos chaves para que o entendimento do conhecimento do especialista fosse transferido para a OntoBio^R. Dessa forma, aspectos e características que não são facilmente percebidos sem uma imersão prévia no domínio e inúmeras conversas com especialistas. Entretanto, possibilitar uma padronização estratégica para que novos aspectos e características possam ser mapeados é de suma importância para usuários que pretendem não torna a ontologia obsoleta a partir da utilização da estratégia proposta nesta investigação.

A estratégia de evolução aqui apresentada contribui na área de evolução de ontologias através de uma abordagem que utiliza o conhecimento tácito do especialista como base para criar sugestões de mudança em ontologias formais de domínio.

6 Conclusões e Perspectivas Futuras

Este capítulo apresenta as considerações finais, contribuições e perspectivas futuras desta investigação.

6.1 Considerações Finais

Com base no processo desenvolvido por (STOJANOVIC, 2004), esta investigação apresentou uma estratégia para evolução de ontologias baseada no conhecimento de especialistas no domínio. Como estudo de caso, foi utilizada a ontologia OntoBio, que precisou de reestruturação.

Uma estratégia para gestão de mudanças em uma ontologia que permita sua evolução através da incorporação do conhecimento tácito do especialista por meio de sua estruturação pode ampliar o acesso em áreas ainda pouco exploradas, tornando os processos de aquisição e uso de conhecimento adequados a múltiplos propósitos.

Em resposta aos objetivos desta investigação, um primeiro resultado, apresentado na Subseção 2.8.1, foi a reestruturação da OntoBio. Todas as alterações realizadas foram justificadas com objetivo de melhorar a representação da estrutura e possibilitar seu uso como objeto de estudo nesta investigação.

Outro resultado, este apresentado no Capítulo 4, foi o desenvolvimento da estratégia de evolução, desenvolvida em duas etapas principais, heurística e ontológica, com objetivo de estipular sugestões de mudança para a OntoBio^R. Estas sugestões permitem a representação de novas características do domínio em um nível específico de conhecimento individual do especialista. Isso se deve ao fato das informações oriundas do conhecimento tácito de especialistas serem o conhecimento instigador para iniciar a estratégia de evolução.

Outro resultado, apresentado no Capítulo 5, foi o desenvolvimento das heurísticas, justificadas com base nas informações tácitas vindas de entrevistas com especialistas de domínio. Estas heurísticas são responsáveis pela criação de parte do conjunto de sugestões de mudança desenvolvidas, sendo o restante das sugestões desenvolvidas pelas análises ontológicas. No mesmo capítulo, são verificados os resultados referentes ao mapeamento das sugestões propostas e ao esquema de anotação, Dicionário Semântico (DS), para dar suporte à escolha e implementação das sugestões de mudança.

Para verificação dos resultados desta investigação, um estudo de caso no domínio de biodiversidade foi realizado seguindo um processo de Engenharia de Ontologias, codificandose automaticamente uma ontologia de referência de biodiversidade utilizando a linguagem OWL, e permitindo representar as novas informações sugeridas pela estratégia de evolução

desenvolvida nesta investigação. Verificou-se assim uma melhoria na representação semântica dos resultados outrora alcançados, representando-se agora, por exemplo, informações sobre características comportamentais do indivíduo como Resposta/Estratégia de Fuga, Comportamento Alimentar e informações sobre Estratégia de Conservação. Retratando cenários específicos da dinâmica comportamental do indivíduo e avaliação de estratégias de impacto ambiental, assim como políticas de prevenção da biodiversidade. As novas características sugeridas permitem que estas informações sejam utilizadas para ajudar, por exemplo, quando uma determinada região deverá sofrer políticas de conservação e um dos fatores para esta determinação é a quantidade de espécies endêmicas da região. Para tal, a informação é representada através do atributo Endemismo que foi uma das sugestões da estratégia de evolução.

Vale ressaltar que entender o domínio que está sendo representado é extremamente importante, e isso demanda tempo. Uma abordagem de evolução de ontologias necessita além de especialistas no domínio, de engenheiros de ontologias que entendam, mesmo que basicamente, o domínio a ser modificado. Conseguir mapear as informações extraídas das entrevistas e utilizá-las para enriquecer a ontologia necessita de um conhecimento prévio sobre o domínio. Neste sentido, algumas palavras-chave tendem a só serem identificadas pelo engenheiro de ontologias quando ele entende a dinâmica do domínio que está representando, como por exemplo, perceber que a palavra *Ativa*, no contexto de ambiente, significa que o ambiente é um habitat específico de determinada espécie.

Com relação as questões de pesquisa levantadas no Capítulo 1 têm-se:

1. Como identificar quando uma ontologia deve evoluir?

Mapear o comportamento de uma ontologia e identificar como ela reage com as informações vindas de outra estrutura formalizada com domínio correspondente. Estas informações podem gerar cenários propícios para evolução de ontologias, seja através de uma mudança na forma de percepção do domínio, ou por um conhecimento ainda não representado na ontologia.

2. Como esquematizar as diferentes visões/observações de um mesmo cenário?

Compreender a forma de como as informações estão ligadas e hierarquizadas, ou seja, como o mundo funciona segundo o modelo cognitivo de cada observador e utilizar esses modelos para melhorar a ontologia.

3. Como identificar o que é consenso em uma ontologia?

Tarefa de comparar informações vindas da ontologia com as obtidas de um especialista do domínio, com o intuito de mapear as informações que podem enriquecer a ontologia sem que os objetivos iniciais de sua criação sejam afetados.

4. Como obter o conhecimento da comunidade/especialista, e explorar a ontologia frente a esse conhecimento com objetivo de evoluí-la?

Utilizar heurísticas para tratar as informações oriundas da comunidade/especialistas, não deixando de considerar o conhecimento preexistente na ontologia, além da realização de análises ontológicas para estipular as sugestões de mudança.

Enfim, os resultados obtidos nesta investigação são relevantes no contexto de Evolução de Ontologias por prover uma estratégia semi-automática que:

1. uma vez implementada, serve de alternativa para que a ontologia seja capaz de representar novas informações, gerando dinamismo à mesma, pois a ontologia não se limitaria em apenas um ciclo de desenvolvimento. Aliado a isso, a estratégia auxilia o engenheiro de ontologias a conduzir o processo de sugestão para posteriormente, com ajuda do especialista no domínio, validarem a ontologia seguindo o processo de evolução; e
2. disponibiliza um mapeamento de sugestão de mudança, permitindo representar características fundamentais para o entendimento das sugestões, tais como: objetivo, problema abordado, além de classes, indivíduos e axiomas afetados.

6.2 Perspectivas Futuras

Apesar das sugestões de mudança terem sido aplicadas na OntoBio^R, esta investigação não aborda uma revisita aos pesquisadores para validação das informações sugeridas quanto a sua importância para representação do domínio.

Outro ponto também sugerido é a instanciação completa da OntoBio^R com dados reais. Isso possibilitará uma navegação completa entre todos os elementos que compõem a OntoBio^R, além de ajudar no processo de descoberta de novas sugestões de mudança. Vale ressaltar que uma análise entre as sugestões geradas pelas etapas heurística e ontológica é necessária, visto que a trilha criada para determinar a sugestão é um ponto fundamental na gestão de ontologias.

Com relação ao programa **OntoSys**, um aperfeiçoamento no tratamento da semântica dos dados de entrada é necessário, para tratar o caso, por exemplo, da sentença de entrada “rota de fuga”, onde esta pode conter a palavra “fuga”, mas não ser necessariamente relacionado ao contexto da expressão “rota de fuga”. Além disso, um vocabulário controlado com uma gramática formal é importante para ajudar no tratamento destes dados de entrada. Logo, um refinamento mais preciso é necessário para validação do **OntoSys**.

Por fim, um estudo comparativo entre o estado inicial da OntoBio^R e o estado após sua evolução é importante para análises de impacto na ontologia, além de definições de métricas para estabelecer melhorias no processo de evolução.

Referências

- ABBURU, S. A survey on ontology reasoners and comparison. *International Journal of Computer Applications*, 2012.
- ALBUQUERQUE, A. C.; SANTOS, J. L. Campos dos; CASTRO, A. N. D. Ontobio: A biodiversity domain ontology for amazonian biological collected objects. In: *System Sciences (HICSS), 2015 48th Hawaii International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2015.
- ALBUQUERQUE, A. C. F. *Desenvolvimento de uma Ontologia de Domínio para Modelagem de Biodiversidade*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Amazonas, 2011.
- ALBUQUERQUE, A. C. F. *Um Modelo de Elicitação de Conhecimento para as Próximas Gerações da Web*. Tese (Exame de Qualificação) — Universidade Federal do Amazonas, 2014.
- ALCHOURRÓN, C. E.; GÄRDENFORS, P.; MAKINSON, D. On the logic of theory change: Partial meet contraction and revision functions. *The journal of symbolic logic*, Cambridge Univ Press, 1985.
- ALMEIDA, M.; SOUZA, R.; FONSECA, F. Semantics in the semantic web: A critical evaluation. *Knowledge organization*, 2011.
- ASHBURNER, M. et al. Gene ontology: tool for the unification of biology. *Nature genetics*, 2000.
- BECHHOFFER, S. et al. Oiled: a reason-able ontology editor for the semantic web. In: *KI 2001: Advances in Artificial Intelligence*. [S.l.]: Springer, 2001.
- BELLMAN, R. *An introduction to artificial intelligence: Can computers think?* [S.l.]: Boyd & Fraser Publishing Company, 1978.
- BERGIN, T. J.; GIBSON, R. G. *History of Programming languages II*. [S.l.]: ACM Press New York, 1996.
- BRACHMAN, R. J.; SCHMOLZE, J. G. An overview of the kl-one knowledge representation system. *Cognitive science*, Wiley Online Library, 1985.
- CAMPOS, M. L. d. A. Integração de ontologias: o domínio da bioinformática. *RECIIS*, 2007.
- CAREY, S. Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change. *Concepts: core readings*, 1999.
- CARMO, R. R. M. d.; SOARES, L. F.; CASANOVA, M. A. Nested event model for multimedia narratives. In: *IEEE. Multimedia (ISM), 2013 IEEE International Symposium on*. [S.l.]: IEEE, 2013.
- CARRICO, M. A.; GIRARD, J. E.; JONES, J. P. *Building knowledge systems: developing and managing rule-based applications*. [S.l.]: Intertext Publications, Inc., McGraw-Hill, Inc., 1989.

- CARVALHO, V. A. de. *Gerência de Conhecimento e Decisão em Grupo: Um Estudo de Caso na Gerência de Projetos*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, Novembro 2006.
- CASTANO, S.; FERRARA, A.; HESS, G. N. Discovery-driven ontology evolution. In: CEUR. *Semantic Web Applications and Perspectives. Italian Semantic Web Workshop (SWAP)*. [S.l.], 2006.
- CASTANO, S.; FERRARA, A.; MONTANELLI, S. Matching ontologies in open networked systems: Techniques and applications. In: *Journal on Data Semantics V*. [S.l.]: Springer, 2006.
- CEDERQVIST, P.; PESCH, R. et al. *Version management with CVS*. 1992. For CVS.
- CHARNIAK, E.; MCDERMOTT, D. *Introduction to artificial intelligence*. [S.l.]: Pearson Education India, 1985.
- CHEYER, A.; GRUBER, T. Siri: A virtual personal assistant for iphone, an ontology-driven application for the masses. *Presentation at Open, International, Virtual Community of Practice on Ontology, Ontological Engineering and Semantic Technology*, 2010.
- DALE, N. B.; LEWIS, J. *Computer science illuminated*. [S.l.]: Jones & Bartlett Learning, 2007.
- DENTLER, K. et al. Comparison of reasoners for large ontologies in the owl 2 el profile. *Semantic Web*, 2011.
- DIAPER, D. *Knowledge elicitation: principle, techniques and applications*. [S.l.]: Springer-Verlag New York, Inc., 1989.
- DIAZ, A. et al. Optimización heurística y redes neuronales. *Editorial Paraninfo*, 1996.
- DJEDIDI, R.; AUFAURE, M.-A. Ontology evolution: State of the art and future directions. *Ontology Theory, Management and Design: Advanced Tools and Models*, 2010.
- DOBSON, A. P.; LOVEJOY, T. E. *Conservation and biodiversity*. [S.l.]: Scientific American Library Freeman New York New York, 1996.
- FALBO, R. A. et al. Ontologias e ambientes de desenvolvimento de software semânticos. *Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento*, 2004.
- FALBO, R. de A.; MENEZES, C. S. de; ROCHA, A. R. C. da. A systematic approach for building ontologies. In: *Progress in Artificial Intelligence—IBERAMIA 98*. [S.l.]: Springer, 1998. p. 349–360.
- FLOURIS, G. et al. Ontology change: Classification and survey. *The Knowledge Engineering Review*, 2008.
- FLOURIS, G.; PLEXOUSAKIS, D.; ANTONIOU, G. Evolving ontology evolution. In: *SOFSEM 2006: Theory and Practice of Computer Science*. [S.l.]: Springer, 2006.

- GABEL, T.; SURE, Y.; VOELKER, J. D3. 1.1. a: Kaon-ontology management infrastructure. *SEKT informal deliverable*, 2004.
- GÓMEZ-PÉREZ, A.; MANZANO-MACHO, D. et al. A survey of ontology learning methods and techniques. *OntoWeb Deliverable D*, 2003.
- GONÇALVES, B.; ZAMBORLINI, V.; GUIZZARDI, G. An ontological analysis of the electrocardiogram. *Electronic Journal of Communication, Information & Innovation in Health*, 2009.
- GOSLING, J. *The Java language specification*. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2000.
- GRUBER, T. R. *Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies*. [S.l.]: Stanford University, Knowledge Systems Laboratory, 1992.
- GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, Elsevier, 1993.
- GUARINO, N. *Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy*. [S.l.]: IOS press, 1998.
- GUARINO, N.; OBERLE, D.; STAAB, S. What is an ontology? In: *Handbook on ontologies*. [S.l.]: Springer, 2009.
- GUIZZARDI, G. *Ontological foundations for structural conceptual models*. [S.l.]: CTIT, Centre for Telematics and Information Technology, 2005.
- GUIZZARDI, G. On ontology, ontologies, conceptualizations, modeling languages, and (meta) models. *Frontiers in artificial intelligence and applications*, IOS Press, v. 155, p. 18, 2007.
- GUIZZARDI, G.; FALBO, R.; GUIZZARDI, R. A importância de ontologias de fundamentação para a engenharia de ontologias de domínio: o caso do domínio de processos de software. *Revista IEEE América Latina*, 2008.
- HAASE, P. et al. A framework for handling inconsistency in changing ontologies. In: *The Semantic Web-ISWC 2005*. [S.l.]: Springer, 2005.
- HAASE, P.; STOJANOVIC, L. Consistent evolution of owl ontologies. In: *The Semantic Web: Research and Applications*. [S.l.]: Springer, 2005.
- HOPCROFT, J. E.; ULLMAN, J. D.; MOTWANI, R. Introdução à teoria de autômatos, linguagens e computação. *Editora Campus*, 2002.
- HORROCKS, I.; PATEL-SCHNEIDER, P. F. Reducing owl entailment to description logic satisfiability. In: *The Semantic Web-ISWC 2003*. [S.l.]: Springer, 2003.
- JEDIDI, R. *Approche d'évolution d'ontologie guidée par des patrons de gestion de changement*. Tese (Doutorado) — Citeseer, 2009.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. [S.l.]: Harvard University Press, 1983.
- KHATTAK, A. M. et al. Ontology evolution and challenges. *Journal of Information Science and Engineering*, 2013.

- KHATTAK, A. M. et al. Managing change history in web ontologies. In: IEEE. *Semantics, Knowledge and Grid, 2008. SKG'08. Fourth International Conference on*. [S.l.], 2008.
- KHATTAK, A. M. et al. Ontology recovery and visualization. In: *Next Generation Web Services Practices, 2008. NWESP'08. 4th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2008.
- KHATTAK, A. M. et al. Building an integrated framework for ontology evolution management. In: *12th International Conference on International Business Information Management Association, Malaysia*. [S.l.: s.n.], 2009.
- KHATTAK, A. M. et al. Ontology evolution: a survey and future challenges. In: *U-and E-service, science and technology*. [S.l.]: Springer, 2009.
- KLEIN, M.; NOY, N. F. A component-based framework for ontology evolution. In: CITESEER. *Proceedings of the IJCAI*. [S.l.], 2003.
- KURZWEIL, R. *The age of intelligent machines*. [S.l.]: MIT press Cambridge, 1990.
- LEE, C.-S. et al. Ontology-based intelligent decision support agent for cmmi project monitoring and control. In: IEEE. *Fuzzy Information Processing Society, 2006. NAFIPS 2006. Annual meeting of the North American*. [S.l.], 2006.
- LUGER, G.; STUBBLEFIELD, W. Artificial intelligence: its roots and scope. *Artificial intelligence: structures and strategies for*, 1993.
- MEGANCK, S. *Towards an Integral Approach for Modeling Causality*. Tese (Doutorado) — INSA de Rouen; Vrije Universiteit Brussels, 2008.
- MESSAOUD, M. B.; LERAY, P.; AMOR, N. B. Sencado: A serendipitous strategy for causal discovery and ontology evolution. *Knowledge-Based Systems*, Elsevier, 2014.
- MEZGHANI, E.; EXPOSITO, E.; DRIRA, K. A collaborative methodology for tacit knowledge management: Application to scientific research. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, 2016.
- MICHENER, W. K. et al. Participatory design of dataone—enabling cyberinfrastructure for the biological and environmental sciences. *Ecological Informatics*, Elsevier, 2012.
- MILLER, G. A. Wordnet: a lexical database for english. *Communications of the ACM*, 1995.
- MILLER, G. A. et al. Introduction to wordnet: An on-line lexical database. *International journal of lexicography*, 1990.
- MURPHY, K. P. Active learning of causal bayes net structure. *Citeseer*, 2001.
- NAKAZONO, E. M. O “mateiro” e a pesquisa científica. *PNCSA/UEA Edições*, 2010.
- NORVIG, P.; RUSSELL, S. *Inteligência Artificial, 3a Edição*. [S.l.]: Elsevier Editora Ltda, 2014.
- NOY, N. F.; FERGERSON, R. W.; MUSEN, M. A. The knowledge model of protege-2000: Combining interoperability and flexibility. In: *Knowledge Engineering and Knowledge Management Methods, Models, and Tools*. [S.l.]: Springer, 2000.

- NOY, N. F.; MUSEN, M. A. Algorithm and tool for automated ontology merging and alignment. In: *Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-00)*. Available as SMI technical report SMI-2000-0831. [S.l.: s.n.], 2000.
- ODELL, J. J. Power types. *Journal of Object-Oriented Programming*, Cambridge University Press, 1994.
- OLIVEIRA, D. Campos de. *Estratégia progressiva multi-nível para formalização e representação de conhecimento especialista*. Dissertação (Exame de Qualificação) — Universidade Federal do Amazonas, 2016.
- PINTO, H. S.; MARTINS, J. Reusing ontologies. In: *AAAI 2000 Spring Symposium on Bringing Knowledge to Business Processes*. [S.l.: s.n.], 2000.
- PLESSERS, P.; TROYER, O. D. Ontology change detection using a version log. In: *The Semantic Web - ISWC 2005*. [S.l.]: Springer, 2005.
- POLYA, G. A arte de resolver problemas. *Rio de Janeiro: interciência*, 1978.
- PRICE, A. M. de A.; TOSCANI, S. S. *Implementação de linguagens de programação: compiladores*. [S.l.]: Sagra-Luzzatto, 2000.
- RUSSEL, P. N. S. *Inteligência Artificial*. [S.l.]: Elsevier Editora Ltda, 2013.
- SALES, T. P. *Identificação de Padrões de Erro em Modelagem Conceitual Por Meio de Validação de Ontologias OntoUML Utilizando ALLOY*. [S.l.]: Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.
- SHVAIKO, P.; EUZENAT, J. Ontology matching: state of the art and future challenges. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2013.
- SINKA, M. E. et al. A global map of dominant malaria vectors. *Parasit Vectors*, BioMed Central Ltd, 2012.
- SOWA, J. F. *Knowledge representation: logical, philosophical, and computational foundations*. [S.l.]: Brooks / Cole, 1999.
- STAAB, S.; STUDER, R. *Handbook on ontologies*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.
- STOJANOVIC, L. Methods and tools for ontology evolution. *Karlsruhe Institute of Technology*, 2004.
- STOJANOVIC, L. et al. User-driven ontology evolution management. In: *Knowledge engineering and knowledge management: ontologies and the semantic web*. [S.l.]: Springer, 2002.
- SURE, Y.; ANGELE, J.; STAAB, S. Ontoedit: Multifaceted inferencing for ontology engineering. In: *Journal on Data Semantics I*. [S.l.]: Springer, 2003.
- TUTHILL, G. S. *Knowledge Engineering: Concepts and Practices for Knowledge Base Systems*. [S.l.]: Tab Books, 1990.
- VALENTE, A. Legal knowledge engineering. *A Modelling Approach*, IOS Press, Amsterdam, *Dissertation*, 1995.

- VIEGAS, W. *Fundamentos de metodologia científica*. [S.l.]: UnB, 1999.
- WATERMAN, D. A. How do expert systems differ from conventional programs? *Expert Systems*, Wiley Online Library, 1986.
- WELTY, C.; MCGUINNESS, D. L.; SMITH, M. K. Owl web ontology language guide. *W3C recommendation, W3C (February 2004) <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210>*, 2004.
- XUAN, D. N.; BELLATRECHE, L.; PIERRA, G. A versioning management model for ontology-based data warehouses. In: *Data Warehousing and Knowledge Discovery*. [S.l.]: Springer, 2006.
- YIN, R. K. *Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos*. [S.l.]: Bookman editora, 2015.
- ZALTA, E. N. Basic concepts in modal logic. *Center for the Study of Language and Information Publications*, 1988.
- ZAMBORLINI, V. C. Estudo de alternativas de mapeamento de ontologias da linguagem ontouml para owl: Abordagens para representação de informação temporal. *Federal University of Espírito Santo*, 2011.

A Reestruturação da OntoBio

A.1 Questões de Domínio

Com o intuito de facilitar a leitura e o entendimento desta seção, adota-se a seguinte sintaxe: a referência a uma classe ou propriedade da ontologia é feita utilizando-se o nome em negrito, com grafia idêntica a da classe original; e as alterações realizadas no modelo seguem a mesma estrutura, porém são apresentadas na descrição desta, após a hifenização.

Abaixo são descritas as alterações referentes a questões de domínio, executadas nesta etapa, que envolvem: classes adicionadas, alteradas e removidas; e propriedades adicionadas, alteradas e removidas.

1. Classes adicionadas

Abaixo são apresentadas as classes adicionadas ao modelo, seguidas de suas respectivas justificativas.

- (A) **Ambiente aquatico, Ambiente de areas umidas e Ambiente terrestre** – Estas classes foram adicionados ao modelo como especializações da classe **Ambiente**, por possuírem características específicas, tais como conceitos e propriedades;
- (B) **Area protegida** – Esta classe foi adicionada ao modelo como especialização da classe **Espaco geográfico**, por representar um espaço claramente definido, dedicado e gerido, através de meios legais ou outros igualmente eficazes, com o objetivo de garantir a conservação a longo prazo da natureza;
- (C) **Codigo de catalogacao** – Esta classe foi adicionada ao modelo por representar o identificador único de um organismo dentro de uma coleção;
- (D) **Colecao biologica** – Esta classe foi adicionada ao modelo por representar o local onde se guardam organismos que são destinados a estudos e pesquisas;
- (E) **Organismo** – Esta classe foi adicionada ao modelo na sub-ontologia Organismo, por esta representar qualquer sistema vivo, tal como um animal, planta ou bactéria;
- (F) **Preservacao permanente e Reservas legais** – Estas classes foram adicionadas ao modelo como especializações da classe **Area protegida**, por representarem tipos específicos destas áreas;
- (G) **Regnum, Phylum, Subphylum, Classis, Subclassis, Ordo, Subordo, Infraordo, Superfamilia, Subfamilia, Tribus, Supergenous, Subgenous, Su-**

perspecies, Subspecies, Varietas e Forma – Estas classes foram adicionadas ao modelo por representarem os níveis hierárquicos que a classificação taxonômica que um organismo possui.

2. Classes alteradas

Abaixo são apresentados as classes que sofreram algum tipo de alteração no modelo, seguidas de suas respectivas justificativas.

- (A) **Agua e Solo** – Estas classes foram convertidas em propriedades da classe **Fatores abioticos**, por se tratarem de alguns dos seus fatores constituintes;
- (B) **Ar** – Esta classe foi convertida em propriedade da classe **Fatores abioticos**, por se tratar de um dos seus fatores constituintes. E a representação semântica foi alterada de **Ar** para **Gas**, devido o ar ser constituído por uma mistura de diversos gases;
- (C) **Bioma** – Esta classe foi movida para a sub-ontologia Ambiente, pois o bioma corresponde a formação de plantas e animais que têm características comuns devido a climas semelhantes;
- (D) **Classificacao** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Classificacao taxonomica**, pois esta melhor representa os elementos que constituem a classificação de um organismo. Ainda por este motivo a classe foi movida para a sub-ontologia Classificação Taxonômica;
- (E) **CondicaoClimatica** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Condicao do tempo**, pois esta melhor representa a condição atual do tempo em um dado momento;
- (F) **Coleta** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Aquisicao**, pois esta melhor representa a forma de aquisição de um determinado organismo;
- (G) **EntidadeAbiotica** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Fatores abioticos**, pois esta melhor representa as influências que os organismos podem receber em um ambiente;
- (H) **EntidadeBiotica** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Caracteristicas bioticas**, pois esta melhor representa as características que são intrínsecas a um organismo;
- (I) **Ecosistema** – Esta classe foi movida para a sub-ontologia Ambiente, pois o ecossistema corresponde a uma comunidade de organismos vivos em conjunto com os componentes não-vivos do seu ambiente;

- (J) **Estado, Municipio e Localidade** – A representação semântica destas classes foram alteradas para **Divisao administrativa de primeira ordem**, **Divisao administrativa de segunda ordem** e **Divisao administrativa de terceira ordem**, respectivamente, pois nem todos os países possuem a divisão geopolítica anteriormente representada;
- (K) **Estagio de vida e Sexo** – Estas classes foram convertidas em propriedades da classe **Caracteristicas bioticas**, por se tratarem de características intrínsecas de um organismo;
- (L) **LocaldaColeta** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Localidade da coleta** e esta foi convertida em propriedade da classe **Aquisicao**, por se tratar de um dado importante sobre a procedência de uma determinada aquisição;
- (M) **Familia, Genero e Especie** – Estas classes foram movidas para a sub-ontologia Classificação Taxonômica, por se tratarem de especializações da classe **Elemento taxonomico**. As representações semânticas das classes **Genero** e **Especie** foram alteradas para **Genus** e **Species**, respectivamente, pois todos os elementos que compõe a classificação taxonômica foram alterados para o idioma latin;
- (N) **InstituicaoDePesquisa** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Instituicao cientifica**, pois esta melhor representa as instituições de pesquisa que possuem coleções biológicas;
- (O) **RegiaoFitofisionomica** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Fitofisionomia**, pois esta melhor representa os aspectos da vegetação de um lugar. Esta classe foi convertida em propriedade da classe **Bioma**, por se tratar de uma das principais características para a sua classificação;
- (P) **ObjetoClassificado** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Taxonomia do objeto**, pois esta melhor representa as classificações taxonômicas que os especialistas podem atribuir para um organismo. Ainda por este motivo a classe foi movida para a sub-ontologia Classificação Taxonômica;
- (Q) **Pessoa** – Esta classe foi movida para a sub-ontologia Organismo e passa a ser especialização da classe **Organismo**, por se tratar de um ser vivo;
- (R) **RegiaoClimatica** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Condicao climatica**, pois esta melhor representa o padrão a longo prazo de tempo em uma determinada área. Ainda por este motivo a classe foi movida para a sub-ontologia Ambiente;
- (S) **Taxon** – A representação semântica desta classe foi alterada para **Elemento taxonomico**, pois esta melhor representa o conjunto de classes que combinados

constituem a árvore taxonômica de um organismo. Ainda por este motivo a classe foi movida para a sub-ontologia Classificação Taxonômica;

- (T) **Terra indigena** e **Unidade de conservacao** – Estas classes foram convertidas em especializações da classe **Area protegida**, por representarem tipos específicos destas áreas;
- (U) **Vegetacao** – Esta classe foi movida para a sub-ontologia Ambiente, pois a vegetação possui relação direta com a combinação de fatores ecológicos de um determinado ambiente;

3. Classes removidas

Abaixo são apresentadas as classes removidas do modelo, seguidas de suas respectivas justificativas.

- (A) **Adulto, Embriao, Indeterminado, Jovem, Larva, Ovo e Pupa** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem aos estágios de vida de um determinado organismo, portanto são considerados instâncias da propriedade **Estagio de vida**;
- (B) **AguaDoce, AguaSalina, AguaSalobra, AguaClara, AguaPreta e AguaBranca** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a tipos de corpos d’água, portanto são considerados instâncias da propriedade **Agua**;
- (C) **Amazonia, Caatinga, Cerrado, MataAtlantica, Pantanal e ZonasCosteiras** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a tipos de biomas, portanto são considerados instâncias da propriedade **Bioma**;
- (D) **AmbienteAreaDesmatada, AmbienteAreiaFina, AmbienteAreiaGrossa, AmbienteAfluente, AmbienteArgila, AmbienteBaia, AmbienteBrejo, AmbienteCascalho, AmbienteCaverna, AmbienteCopadeArvore, AmbienteCorredeira, AmbienteFloresta, AmbienteFolha, AmbienteFundoRochoso, AmbienteFuro, AmbienteHumus, AmbienteLago, AmbienteMangue, AmbienteMar, AmbientePantano, AmbientePedraSolta, AmbientePico, AmbientePraia, AmbienteQueda, AmbienteRestodeMadeira, AmbienteRio, AmbienteRocha, AmbienteSeixo, AmbienteTerraPreta, AmbienteVegetacao, AmbienteUrbano, VegetacaoAquatica, VegetacaoInundada e VegetacaoMarginal** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a tipos que variam de escala microscópica a global, de um ambiente. Portanto são consideradas instâncias das especializações da classe **Ambiente**;
- (E) **Animal, Fauna, Flora, MicroOrganismos, Microbiota e Planta** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem singularmente ou co-

letivamente a tipos de organismos, sendo que este conceito já é representado pela classe **Organismo**;

- (F) **AreaDaUniao, AreaDevoluta, AreaFederal, AreaPrivada, Assentamento, Comunidade, Povoado, TerrasEstaduais, TerrasFederais, TerrasMunicipais** e **Vilarejo** – Estas classes foram removidas do modelo por não corresponderem a tipos de áreas protegidas e pelos seus conceitos serem representados pelas divisões administrativas de um determinado país;
- (G) **Arenoso, Argiloso, Hidromorfico, Humoso, Litolitico** e **Rochoso** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem aos tipos de solo, portanto são considerados instâncias da propriedade **Solo**;
- (H) **Assexual, Bissexual, Feminino, Hermafrodita, Indeterminado, Masculino** e **NaoExaminado** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem ao sexo de um determinado organismo, portanto são considerados instâncias da propriedade **Sexo**;
- (I) **AuxiliarColeta, ParticipantedaColeta, ParticipantePesquisador** e **ResponsavelColeta** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a papéis que uma determinada pessoa pode assumir caso esteja participando de uma coleta;
- (J) **Caatinga, Campo, Capoeira, Cerrado, Igapo, Mata, Restinga** e **Varzea** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem ao tipo de vegetação que compõe um determinado ambiente, portanto são consideradas instâncias da classe **Vegetacao**;
- (K) **Chuvoso, Ensolarado** e **Nublado** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a tipos de condição atual do tempo em um dado momento, portanto são consideradas instâncias da classe **Condicao do tempo**;
- (L) **ClassificadordeObjeto** – Esta classe foi removida do modelo por corresponder a um tipo de especialização que uma pessoa pode ter, portanto é considerada instância da propriedade **Especializacao**;
- (M) **ColetaAleatoria, ColetaInstrumentada, ColetaManual, ColetaporArmadilha, ColetaporParcelas, ColetaporRede, GuardachuvaEntomologico, Instrumento** e **InstrumentodeColeta** – Estas classes foram removidas do modelo por se tratarem de tipos de métodos de coleta, portanto são consideradas instâncias da propriedade **Metodo de coleta**;
- (N) **CoordenadaGeografica** – Esta classe foi removida do modelo por esta representar um ponto da superfície terrestre, sendo que tal conceito já é representado pela propriedades **Latitude** e **Longitude**;

- (O) **EntidadeMaterial** – Esta classe foi removida do modelo por não corresponder a um conceito necessário para a modelagem proposta para este domínio, tendo em vista que matéria é tudo que ocupa espaço e possui massa de repouso;
- (P) **Equatorial, SemiArido, SemiUmido, Temperado, Tropical e Umido** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a tipos de condição climática, portanto são consideradas instâncias da classe **Condicao climatica**;
- (Q) **FlorestaPrimaria e FlorestaSecundaria** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a conceitos subjetivos a respeito de perturbações significativas que o ser humano pode causar em uma floresta;
- (R) **InstituicaoResponsavelpelaColeta** – Esta classe foi removida do modelo por não ter necessidade de representação, tendo em vista que o importante é representar a instituição em que o organismo coletado foi depositado;
- (S) **LocalizacaoEspacial e PontoGeografico** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a conceitos que representam um determinado ponto na superfície terrestre, sendo que tal conceito já é representado pelas propriedades da classe **Espaco geografico**;
- (T) **LuaCheia, LuaCrescente, LuaMinguante e LuaNova** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem as principais fases da lua, portanto são consideradas instâncias da classe **Fase da lua**;
- (U) **LuminosidadeAlta, LuminosidadeBaixa e LuminosidadeMedia** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a presença relativa da luz, portanto são consideradas instâncias da propriedade **Luminosidade**;
- (V) **MacroAmbiente e MicroAmbiente** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a escalas que variam de microscópica a global de um ambiente;
- (W) **MacroEcosistema, MesoEcosistema e MicroEcosistema** – Estas classes foram removidas do modelo por não corresponderem a representações necessárias. É importante representar os tipos de ecossistemas e não a variação de tamanho que estes possam ter;
- (X) **ObjetoColetado e ObjetoemEstudo** – Estas classes foram removidas do modelo por corresponderem a conceitos que são representados pela classe **Aquisicao**, que trata da forma de obtenção e propósito do organismo coletado;
- (Y) **Pesquisador** – Esta classe foi removida do modelo por corresponder a um categoria geral das especializações que uma pessoa pode ter;
- (Z) **RegiaoAmazonica, RegiaoAraucarias, RegiaoAtlantica, RegiaoCocais, RegiaodeCaatinga, RegiaodeCampos, RegiaodeCerrado, RegiaodoPan-**

tanal e **RegiaoLitoranea** – Estas classes foram removida do modelo por corresponderem a tipos comuns de fitofisionomia, portanto são consideradas instâncias da propriedade **Fitofisionomia**;

- (AA) **RegiaoPoliticoSocial** – Esta classe foi removida do modelo por corresponder a divisões geopolíticas já representadas pelas classes que compõe a divisão administrativa de um país;
- (AB) **TipoAgua, TipoBioma, TipoColeta, TipoEcosystema, TipoEstagio-Vida, TipoLocalidade, TipoMacroAmbiente, TipoMicroAmbiente, TipoRegiaoClimatica, TipoRegiaoFitofisionomica, TipoRegiaoPolitico-Social, TipoSexo, TipoSolo** e **TipoVegetacao** – Estas classes foram removidas do modelo por terem sido modelados como *powertypes*, que representam super tipos. Os *powertypes* não são passíveis de validação com as tecnologias atuais e não há sentido lógico em instanciar tipos de conceitos que já possuem instancias, apenas tornará o modelo redundante. Portanto tais conceitos foram removidos do modelo;
- (AC) **VinculoInstitucional** – Esta classe foi removida do modelo devido o seu conceito ser compreendido pela relação entre as classes **Pessoa** e **Instituicao de pesquisa**;

4. Propriedades adicionadas

Abaixo são apresentadas as propriedades adicionadas ao modelo, seguidas de suas respectivas justificativas.

- (A) **Ano de criacao, Area, Categoria, Grupo** e **Instancia responsavel** – Estas propriedades foram adicionadas ao modelo por representarem características que combinadas determinam o conceito de unidade de conservação, portanto são consideradas propriedades da classe **Unidade de conservacao**;
- (B) **Caracterizacao, Nome popular** e **Regiao** – Estas propriedades foram adicionadas ao modelo por representarem variáveis que combinadas determinam o conceito de áreas úmidas, portanto são consideradas propriedades da classe **Ambiente de areas umidas**;
- (C) **Codigo** – Esta propriedade foi adicionada ao modelo por representar o código único de uma coleção, portanto é considerada propriedade da classe **Colecao biologica**;
- (D) **Coletor, Metodo de coleta, Nome cientifico, Numero de campo, Quantidade** e **Tipo de aquisicao** – Estas propriedades foram adicionadas ao modelo por representarem atributos de procedência de uma aquisição, portanto são consideradas propriedades da classe **Aquisicao**;

- (E) **Especializacao** – Esta propriedade foi adicionada ao modelo por representar as áreas que as pessoas são especializados, portanto é considerada propriedade da classe **Pessoa**;
- (F) **Estagio de maturidade** e **Habito alimentar** – Estas propriedades foram adicionadas ao modelo por representarem características intrínsecas de um organismo, portanto são consideradas propriedades da classe **Características bióticas**;
- (G) **Natureza jurídica** – Esta propriedade foi adicionada ao modelo por representar a identificação da constituição jurídico-institucional dos espaços geográficos públicos e privados de um país, portanto é considerada propriedade da classe **Espaco geografico**;
- (H) **Periodo visivel** – Esta propriedade foi adicionada ao modelo devido a lua apresentar uma mudança gradual de fases ao executar a sua trajetória, tais fases só podem ser avistadas em um determinado período. Portanto é considerado propriedade da classe **Fase da lua**;
- (I) **Posicao relativa** – Esta propriedade foi adicionada ao modelo devido por representar a localidade mais próxima de um determinado espaço geográfico, portanto é considerado propriedade da classe **Espaco geografico**;
- (J) **Sensacao termica** e **Umidade** – Estas propriedades foram adicionadas ao modelo por serem variáveis que combinadas a outras determinam a condição do tempo, portanto são consideradas propriedades da classe **Condicao do tempo**;
- (K) **Tipo** – Esta propriedade foi adicionada ao modelo por representar o tipo nomenclatural adotado pelos países para uma determinada divisão administrativa, portanto são consideradas propriedades das classes **Divisao administrativa de primeira ordem**, **Divisao administrativa de segunda ordem** e **Divisao administrativa de terceira ordem**;

5. Propriedades alteradas

Abaixo são apresentadas as propriedades que sofreram algum tipo de alteração no modelo, seguidas de suas respectivas justificativas.

- (A) **Altitude**, **Latitude** e **Longitude** – Estas propriedades foram movidas para a classe **Espaco geografico**, por se tratar de características que compõe um ponto da superfície terrestre;
- (B) **DataHoraInicio** e **DataHoraFim** – Estas propriedades foram movidas para a classe **Aquisicao**, por se tratar de atributos importantes sobre a procedência de um determinado organismo. E as representações semânticas foram alteradas para **Data da coleta** e **Hora da coleta**;

- (C) **Nomepopular** – Esta propriedade foi movida para a classe **Species**, por se tratar de uma nomenclatura popular designada para um determinado organismo que possui uma classificação taxonômica conhecida;
- (D) **Ph** e **Temperatura** – Estas propriedades foram movidas para a classe **Fatores abioticos**, por se tratarem de alguns dos seus fatores constituintes;
- (E) **Pressaoatmosferica** – Esta propriedade foi movida para a classe **Condicao do tempo**, por se tratar de um dos seus fatores constituintes;
- (F) **Salinidade** – Esta propriedade foi movida para a classe **Fatores abioticos**, por se tratar de um dos seus fatores constituintes;
- (G) **Umidade** – Esta propriedade foi movida para a classe **Fatores abioticos**, por se tratar de um dos seus fatores constituintes;
- (H) **Velocidade** – Esta propriedade foi movida para a classe **Condicao do tempo**, por se tratar de um dos seus fatores constituintes. E a representação semântica foi alterada de **Velocidade** para **Vento**, devido este representar o fluxo de gases em grande escala;

6. Propriedades removidas

Abaixo são apresentadas as propriedades que foram removidas do modelo, seguidas de suas respectivas justificativas.

- (A) **nome** – Esta propriedade foi removida do modelo devido as suas instâncias corresponderem a instâncias de sua própria classe, encontrada em **InstituicaoDePesquisa** e **Pessoa**, fato que causaria redundância;
- (B) **nomecientifico** – Esta propriedade foi removida do modelo devido esta representação ser uma combinação das instâncias das classes **Genus** e **Species**, fato que causaria redundância;

A.2 Resultado da Reestruturação

Abaixo são descritas e apresentadas as sub-ontologias resultantes do processo de reestruturação da OntoBio.

a) Sub-ontologia Ambiente

Esta sub-ontologia visa representar os conceitos que afetam diretamente o metabolismo ou o comportamento de um organismo ou de uma espécie. Portanto não houve alteração na representação semântica do seu conceito principal, representado pela classe **Ambiente**, que conseqüentemente dava origem a representação semântica desta sub-ontologia. Considerando o propósito desta sub-ontologia, os conceitos que representam biomas e ecossistemas, que antes incorporavam a sub-ontologia Ecossistema, foram incorporados a esta sub-ontologia.

Também foram incorporadas as alterações referentes as questões deste domínio, descritas na seção A.1.

Abaixo são apresentadas as sub-ontologias Ambiente (figura 28) e Ecossistema (figura 29) presentes na OntoBio, seguidas da sub-ontologia Ambiente (figura 30) resultante do processo de reestruturação e presente na OntoBio^R.

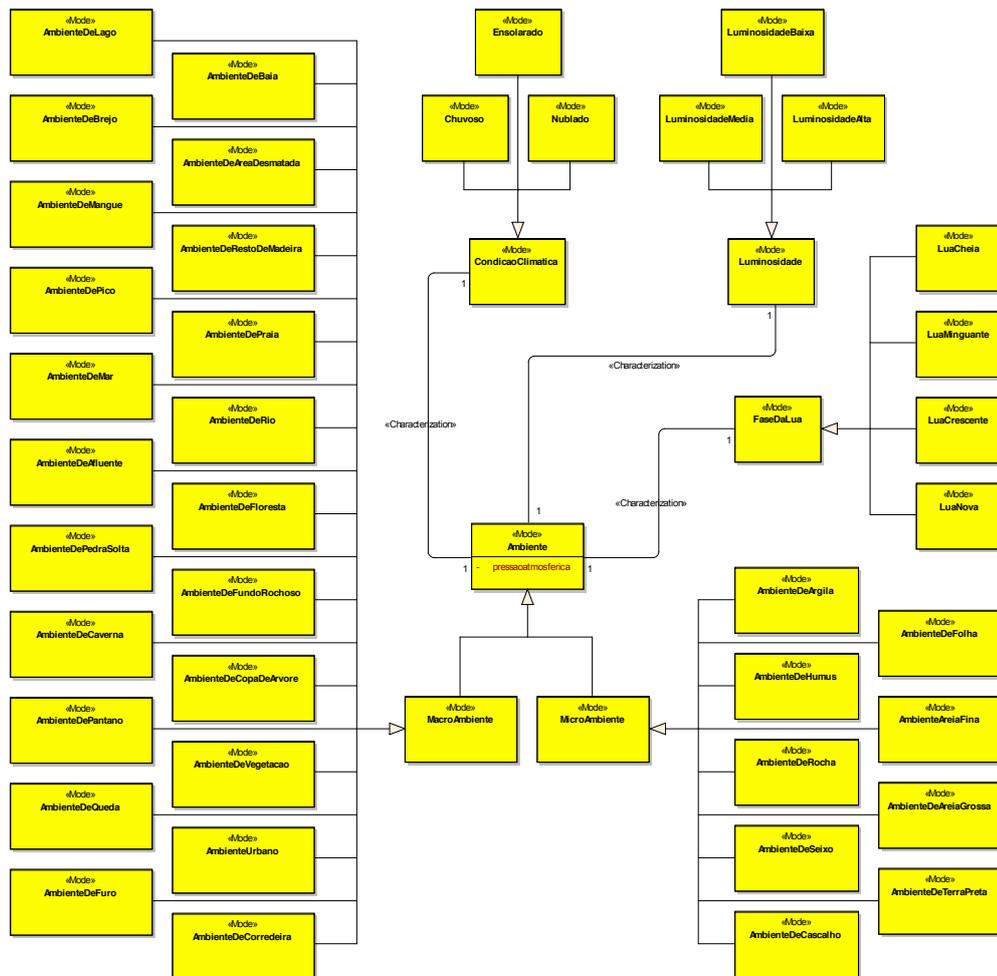


Figura 28 – Sub-ontologia Ambiente, presente na OntoBio.

Fonte: Adaptado de (ALBUQUERQUE, 2011).

b) Sub-ontologia Aquisição

Esta sub-ontologia visa representar as formas de obtenção de um organismos ou lote, e a sua incorporação a uma coleção biológica. Portanto houve alteração no seu conceito principal, que dava origem a representação semântica desta sub-ontologia, antes representado pela classe **Coleta** e atualmente representado pela classe **Aquisicao**. Também foram incorporadas as alterações referentes as questões deste domínio, descritas na seção A.1.

Abaixo é apresentada a sub-ontologia Coleta (figura 31) presente na OntoBio, seguida da sub-ontologia Aquisição (figura 32) resultante do processo de

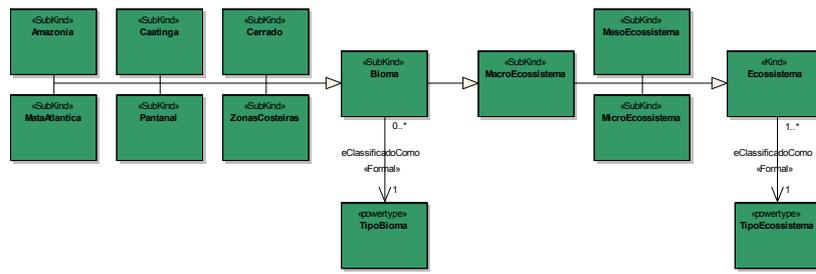


Figura 29 – Sub-ontologia Ecosistema, presente na OntoBio.

Fonte: Adaptado de (ALBUQUERQUE, 2011).

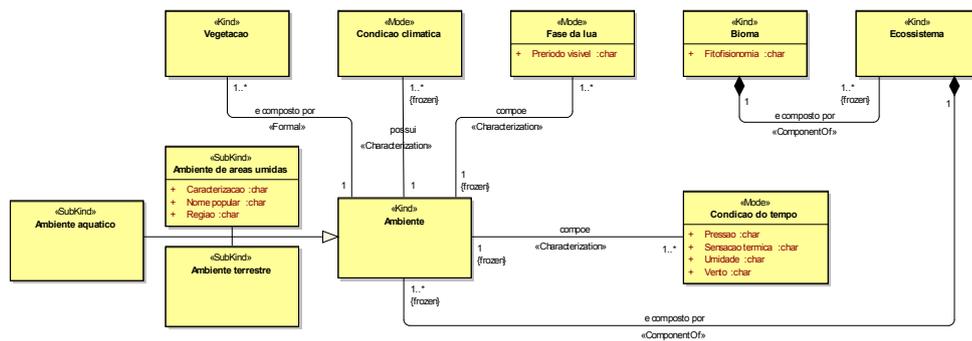


Figura 30 – Sub-ontologia Ambiente, presente na OntoBio^R.

reestruturação e presente na OntoBio^R.

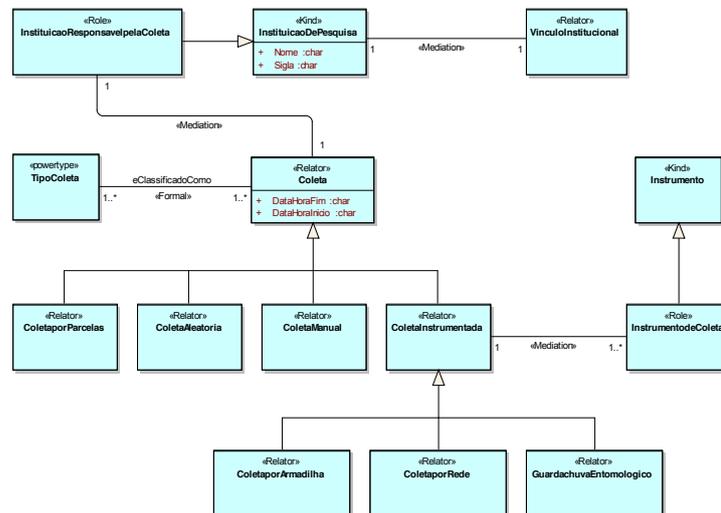


Figura 31 – Sub-ontologia Coleta, presente na OntoBio.

Fonte: Adaptado de (ALBUQUERQUE, 2011).

c) Sub-ontologia Classificação Taxonômica

Esta sub-ontologia visa representar o modo como os biólogos agrupam e categorizam as espécies de organismos, extintos e não extintos. Tal representação não existia na OntoBio, apenas era possível representar as nomenclaturas atribuídas

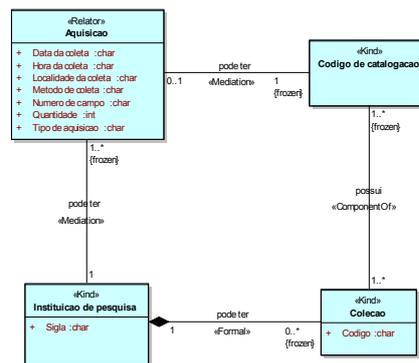


Figura 32 – Sub-ontologia Aquisição, presente na OntoBio^R.

para Família, Gênero e Espécie; representadas através de classes e presentes na sub-ontologia Entidade Material. Portanto esta nova sub-ontologia foi inserida na OntoBio^R. Nesta foram incorporadas as alterações referentes as questões deste domínio, descritas na seção A.1.

Abaixo é apresentada a sub-ontologia Classificação Taxonômica (figura 33) resultante do processo de reestruturação e presente na OntoBio^R.

d) Sub-ontologia Espaço Geográfico

Esta sub-ontologia visa representar os conceitos de um determinado ponto na superfície terrestre. Portanto não houve alteração semântica no seu conceito principal, que consequentemente origina a representação semântica desta sub-ontologia, representado pela classe **EspacoGeografico**. Nesta foram incorporadas as alterações referentes as questões deste domínio, descritas na seção A.1.

Abaixo é apresentada a sub-ontologia Espaço Geográfico (figura 34) presente na OntoBio, seguida da sub-ontologia Espaço Geográfico (figura 35) resultante do processo de reestruturação e presente na OntoBio^R.

e) Sub-ontologia Organismo

Esta sub-ontologia visa representar qualquer sistema vivo, tal como um animal, planta ou bactéria. Portanto houve alteração no seu conceito principal, que originava a representação semântica desta sub-ontologia, antes representado pela classe **EntidadeMaterial** e atualmente representado pela classe **Organismo**. Também foram incorporadas as alterações referentes as questões deste domínio, descritas na seção A.1.

Abaixo é apresentada a sub-ontologia Entidade Material (figura 36) presente na OntoBio, seguida da sub-ontologia Organismo (figura 37) resultante do processo de reestruturação e presente na OntoBio^R.

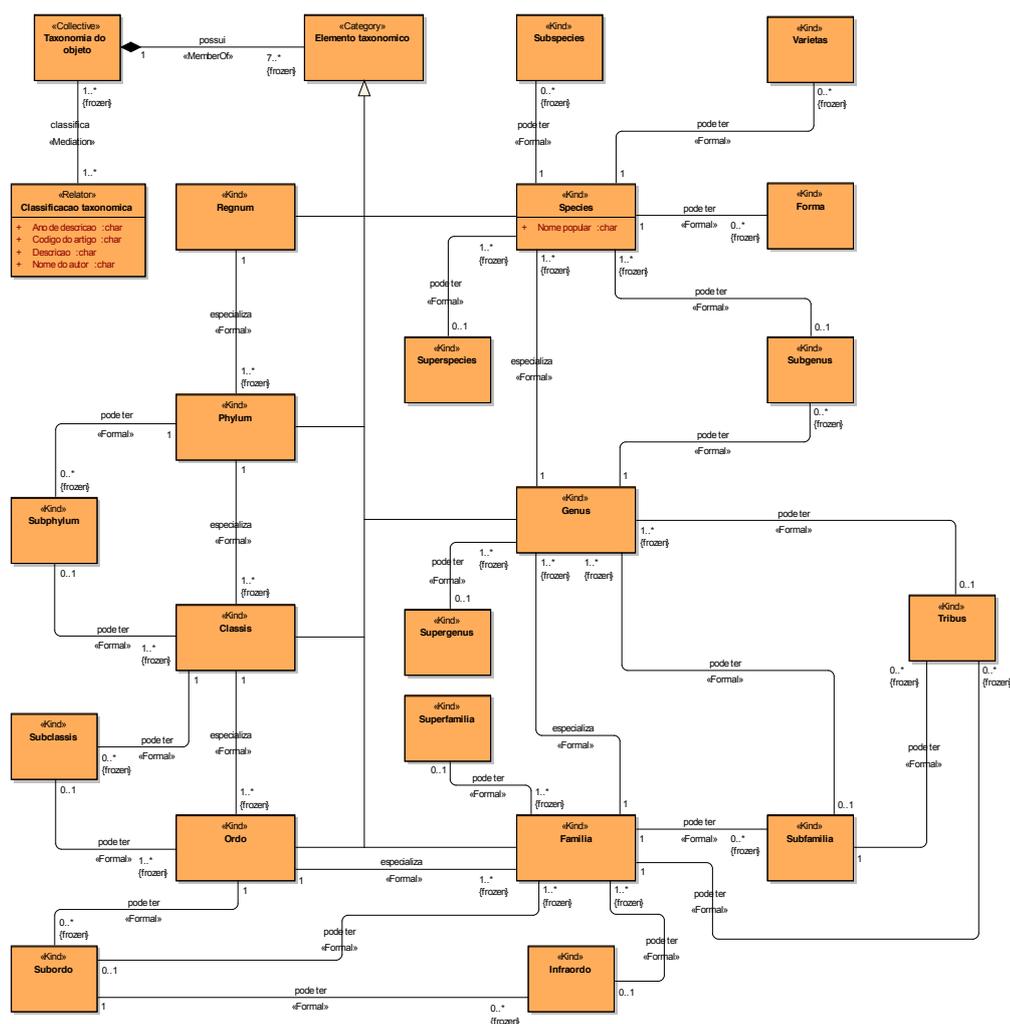


Figura 33 – Sub-ontologia Classificação Taxonômica, presente na OntoBio^R.

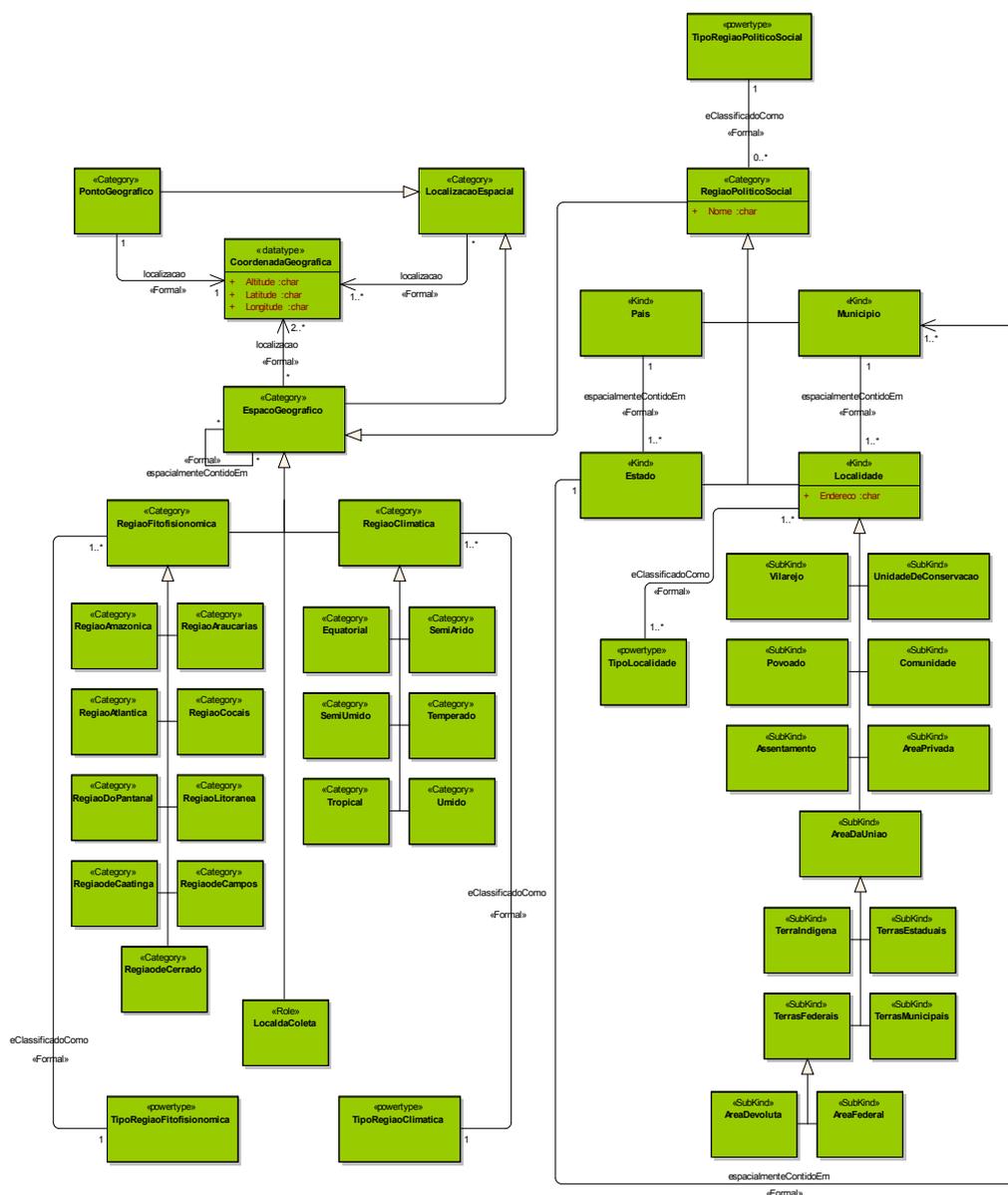


Figura 34 – Sub-ontologia Espaço Geográfico, presente na OntoBio.

Fonte: Adaptado de (ALBUQUERQUE, 2011).

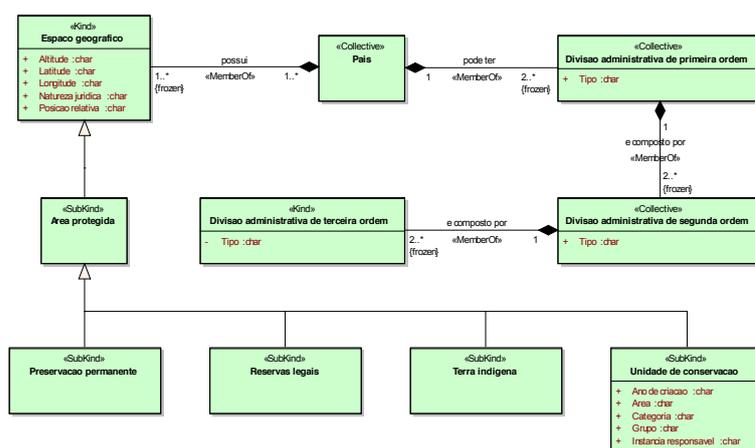


Figura 35 – Sub-ontologia Espaço Geográfico, presente na OntoBio^R.

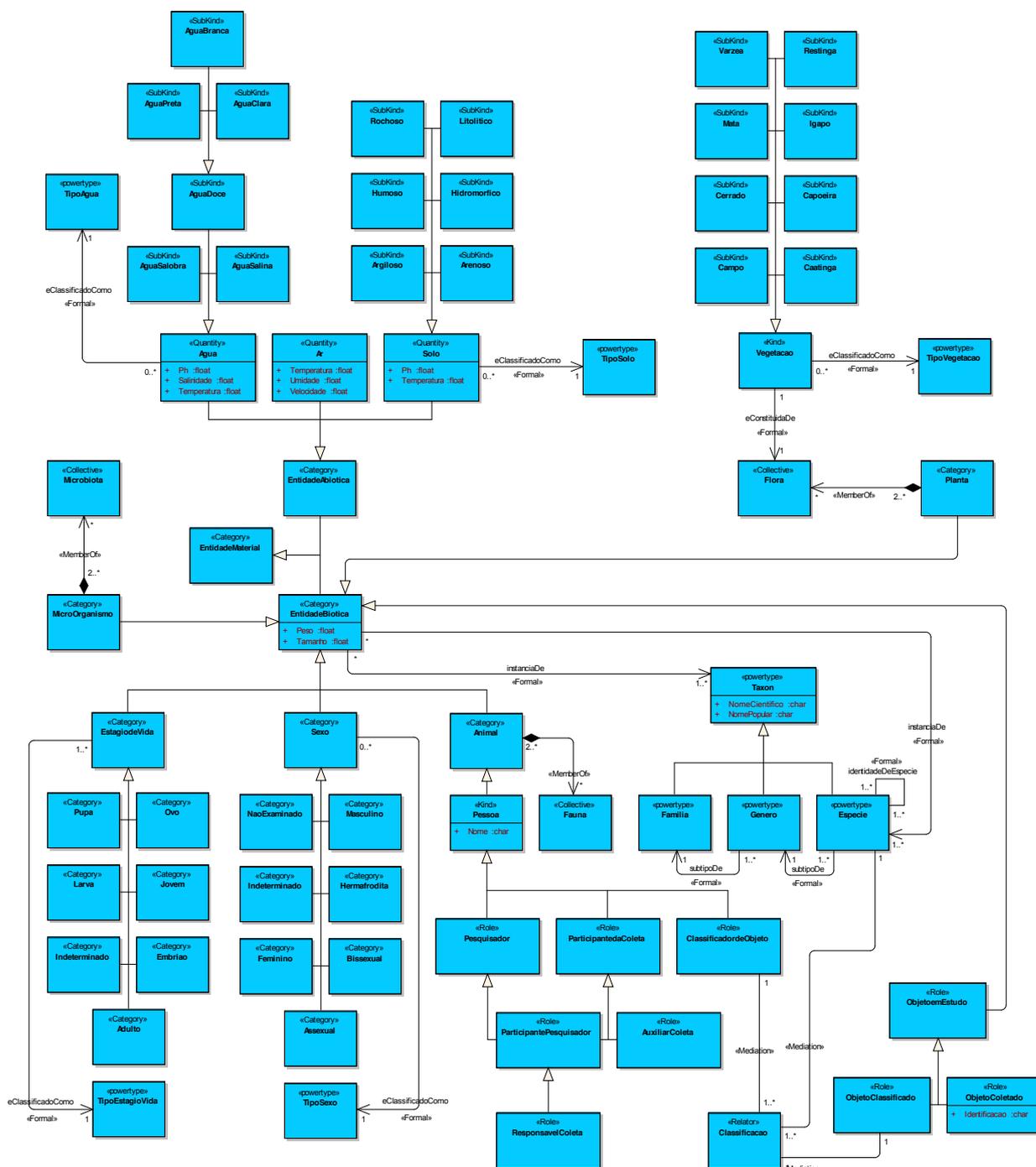


Figura 36 – Sub-ontologia Entidade Biótica, presente na OntoBio.

Fonte: Adaptado de (ALBUQUERQUE, 2011).

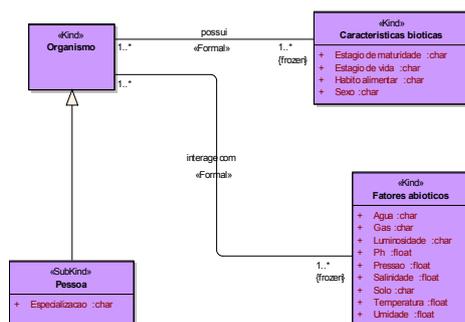


Figura 37 – Sub-ontologia Organismo após as alterações. Presente na OntoBio^R.

B Heurísticas

Legenda:

varInput = variável responsável pela entrada de informação que será analisada.

varOut = variável responsável pelo resultado da sugestão oferecida para a OntoBio.

OntoStruct = estrutura que contém informações sobre o conhecimento que pertence a OntoBio.

ListEq = Lista de conceitos que são equivalentes.

ListNp = Lista de determinação popular para uma informação. Ex: A informação Área Encharcada possui como nome popular: Brejo, Mangue, etc.

Algoritmo 2 H01

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO COTA.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “cota” +  $\beta$  e “cota”  $\notin$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq
   e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:       “Sugestão 01: Cota deve ser atributo da Classe que represente o conceito de
       Ambiente aquático. Ex: Rio, Mar. Nesse caso é importante mapear essa informação
       para entender a dinâmica que o indivíduo foi coletado, por exemplo, se tem mais
       ocorrências na época de cheia. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para
       mais análises.”
5:   else if varInput = String “cota”  $\in$  OntoStruct e/ou  $\in$  ListEq e/ou  $\in$ 
   ListNp then
6:     return varOut =
7:       “Sugestão 01: A informação Cota se encontra na (ListEq: representa a informa-
       ção  $\alpha$  || ListNp: representa a informação  $\alpha$  ou OntoStruct: representa a informação
        $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da Ontologia para mais análises.”
8:   else
9:     return varOut =
10:      “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
       Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 3 H02

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO OCCORRÊNCIA.
2:   if varInput = String “Ocorrência de” +  $\alpha$  then
3:     return varOut =
4:       “Sugestão 01: 80% de acurácia para a informação  $\alpha$  ser uma instância da
       Classe que represente o conceito de Características bióticas. Consulte o Dicionário
       Semântico da Ontologia para mais análises.”
5:   else
6:     return varOut =
7:       “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
       Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 4 H03

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO RESPOSTA DE FUGA.
2:   if varInput = String “resposta* de fuga*” +  $\alpha$  || String  $\beta$  + “estrategia* de fuga*” + String  $\beta$  e “resposta* de fuga*” e/ou “estratégia* de fuga*”  $\notin$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Analisar criação de Classe ou atributo que represente as características comportamentais do indivíduo. Ex: Classe: Atividade comportamental, com a subclasse Resposta de fuga. A Classe Atividade comportamental deverá ter um relacionamento com a Classe que represente o conceito de Espécie; Atributo (Resposta de fuga) que pertença a Classe que represente o conceito de Espécie. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
5:   else if varInput = String “resposta* de fuga*” ou “estrategia* de fuga*”  $\in$  OntoStruct e/ou  $\in$  ListEq e/ou  $\in$  ListNp then
6:     return varOut =
7:     “Sugestão 01: A informação Resposta* de Fuga* e/ou Estratégia* de Fuga* se encontra(encontram) na (ListEq: representa a informação  $\alpha$  || ListNp: representa a informação  $\alpha$  ou OntoStruct: representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
8:   else
9:     return varOut =
10:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 5 H04

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO COM TERMINAÇÃO ÍVORO OU ÍVOROS.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “*ívor*” e/ou “Habito Alimentar”  $\in$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: 90% de acurácia da informação *ívor* ser instância de Classe que represente o conceito de Hábito alimentar.”
5:   else if varInput = String “Habito Alimentar”  $\notin$  OntoStruct then
6:     return varOut =
7:     “Sugestão 01: O modelo não possui uma Classe que represente o conhecimento de Hábito alimentar, porém sua criação é necessária. Em seguida deve-se adicionar a informação *ívor* como instância dessa Classe. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
8:   else
9:     return varOut =
10:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 6 H05

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO DE AMBIENTE TÍPICO.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “ambiente típico” +  $\beta$  e “ambiente típico”  $\notin$ 
   OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Utilizar essa informação como instância do atributo Localidade
   da coleta. Caso este ainda não exista, deve-se criá-lo e atribuí-lo a Classe que repre-
   sente o conceito de Aquisição ou Coleta.”
5:   else if varInput = String “ambiente típico”  $\in$  OntoStruct e/ou  $\in$  ListEq
   e/ou  $\in$  ListNp then
6:     return varOut =
7:     “Sugestão 01: A informação Ambiente Típico se encontra na (ListEq: re-
   presenta a informação  $\alpha$  ou ListNp: representa a informação  $\alpha$  ou OntoStruct:
   representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais
   análises.”
8:   else
9:     return varOut =
10:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
   Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 7 H06

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO DE ALIMENTO.
2:   if varInput = String String  $\alpha$  + “aliment*” + String  $\beta$  || “come*” +
   String  $\beta$  ou String  $\alpha$  + “dieta*” + String  $\beta$  e “alimento”  $\notin$  OntoStruct
   e/ou  $\notin$  ListEq e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Informação deve ser utilizada como instância de Classe que re-
   presente o conceito de Habito alimentar.”
5:     “Sugestão 02: Informação pode ser utilizada como instância de Classe que re-
   presente o conceito de Alimento, onde cada indivíduo possui instâncias específicas, de
   acordo com sua alimentação. Notar que esse conceito é diferente do conceito Habito
   alimentar, pois representa o conjunto de alimentos possíveis que podem ser ingeri-
   dos pelo indivíduo e não se o indivíduo ingere apenas vegetais, animais, entre outros.
   Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
6:   else if varInput = String “alimento”  $\in$  OntoStruct then
7:     return varOut =
8:     “Sugestão 01: A informação Alimento se encontra na OntoStruct: representa
   a informação  $\alpha$ . Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
9:   else
10:    return varOut =
11:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
   Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 8 H07

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO DE PERTURBAÇÃO AMBIENTAL.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “perturbação ambiental” +  $\beta$  e “perturbação
   ambiental”  $\notin$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Utilizar essa informação como atributo de Classe que representa
   o conceito de Ambiente. Com a determinação do valor de perturbação ambiental,
   poderia-se estipular quão danificado um ambiente está, correlacionado, espécies, ani-
   mais, vegetais, etc. Poderia-se atualizar esse valor de acordo com a observação atual
   do ambiente.”
5:     “Sugestão 02: Utilizar essa informação para criar uma Classe que represente
   o conceito de Perturbação ambiental, onde serão instanciados tipo de perturbação
   como: Desmatamento de grandes áreas para a agricultura, pasto, crescimento urbano,
   entre outros. Vale ressaltar que para essa sugestão, uma relação entre a Classe que
   represente o conceito Perturbação ambiental e a Classe que represente o conceito de
   Ambiente deve ser criada. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais
   análises.”
6:   else if varInput = String “perturbação ambiental”  $\in$  OntoStruct then
7:     return varOut =
8:     “Sugestão 01: A informação Perturbação Ambiental se encontra na OntoS-
   truct: representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para
   mais análises.”
9:   else
10:    return varOut =
11:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
   Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 9 H08

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO HABITAT.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “habita*” +  $\beta$  ou “*ativo*” +  $\beta$  ou “*ativa*” +
    $\beta$  ou  $\alpha$  + “se abrig*” +  $\beta$  ||  $\alpha$  + “abrigo*” +  $\beta$  ou  $\alpha$  + “abriga*” +  $\beta$  ou  $\alpha$ 
   + “frequentemente encontrado*” +  $\beta$  e “habitat”  $\notin$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq
   e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Utilizar essa informação para criar instância da Classe que repre-
   senta o conceito Ambiente. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais
   análises.”
5:   else if varInput = String “habitat”  $\in$  OntoStruct then
6:     return varOut =
7:     “Sugestão 01: A informação Habitat se encontra na OntoStruct: representa a
   informação  $\alpha$ . Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
8:   else
9:     return varOut =
10:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
   Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 10 H09

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “estratégia de conservação” +  $\beta$  ou  $\alpha$  + “espécies
   endêmicas” +  $\omega$  e “estratégia de conservação”  $\notin$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq e/ou
    $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Utilizar essa informação para criar um atributo que represente
   o significado de Endemismo. Esse atributo deve pertencer a Classe que represente o
   conceito de Características bióticas, o atributo deve receber valores numéricos. Com
   essa informação quantitativa, inferências podem ser feitas para avaliação de estraté-
   gias de impacto ambiental e políticas de prevenção da biodiversidade. A quantidade
   de espécies endêmicas em uma determinada região serve de alerta para políticas de
   conservação. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
5:   else if varInput = String “Estrategia de Conservacao”  $\in$  OntoStruct then
6:     return varOut =
7:     “Sugestão 01: A informação Estratégia de Conservação se encontra na On-
   toStruct: representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da ontologia
   para mais análises.”
8:   else
9:     return varOut =
10:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
   Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 11 H10

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO FATOR LIMITADOR.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “limita*” +  $\beta$  e “fator limitador”  $\notin$  OntoStruct
   e/ou  $\notin$  ListEq e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Utilizar essa informação como atributo de Classe que representa
   o conceito de Características bióticas. Esse atributo representará características limi-
   tadoras para existência de determinado indivíduo.”
5:     “Sugestão 02: Utilizar essa informação para criar uma Classe que represente o
   conceito de Fator limitador, onde serão instanciados tipo de perturbação como: Forte
   turbulência da água que limita a presença da maioria das espécies de peixes. Vale
   ressaltar que para essa sugestão, uma relação entre o conceito Fator Limitador e o
   conceito Organismo deve ser criada. Consulte o Dicionário Semântico da ontologia
   para mais análises.”
6:   else if varInput = String fator limitador  $\in$  OntoStruct then
7:     return varOut =
8:     “Sugestão 01: A informação Fator Limitador se encontra na OntoStruct:
   representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais
   análises.”
9:   else
10:    return varOut =
11:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
   Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 12 H11

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO ESTAÇÃO/TEMPORADA.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “estação” +  $\beta$  e/ou  $\beta$  + “temporada” +  $\beta$  e
   “Condição Climática”  $\notin$  OntoStruct then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Utilizar essa informação para criar uma Classe que represente
   o conceito de Condição climática, onde serão instanciados exemplos como: Estação
   chuvosa, seca. Vale ressaltar que para essa sugestão, uma relação entre o conceito
   Condição climática e o conceito que represente Região/Ambiente deve ser criada. Essa
   relação permitirá ligar uma Região  $\chi$  com uma Estação  $\omega$ . Consulte o Dicionário
   Semântico da ontologia para mais análises.”
5:   else if varInput = String “Condição Climática”  $\in$  OntoStruct then
6:     return varOut =
7:     “Sugestão 01: A informação Condição Climática se encontra na OntoStruct:
   representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais
   análises.”
8:   else
9:     return varOut =
10:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
   Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 13 H12

```

1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO OCASIONALMENTE.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “encontrado* ocasionalmente” +  $\beta$  e/ou  $\beta$  +
   “encontro ocasional” +  $\beta$  e “Encontro Ocasional”  $\notin$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq
   e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:     “Sugestão 01: Utilizar essa informação como instância de Classe que representa
   o conceito de Método de coleta, se essa Classe não existe no modelo, sua criação é
   necessária. A instância representaria o tipo Método de Coleta: Encontro ocasional.”
5:     “Sugestão 02: A informação pode ser utilizada também como instância da
   Classe Localidade da coleta. Ex: Encontrados ocasionalmente em pequenos Riachos.
   Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
6:   else if varInput = String “Encontro Ocasional”  $\in$  OntoStruct then
7:     return varOut =
8:     “Sugestão 01: A informação Encontro Ocasional se encontra na OntoStruct:
   representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o DS da Ontologia para mais análises. Consulte
   o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
9:   else
10:    return varOut =
11:    “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
   Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”

```

Algoritmo 14 H13

```
1: procedure TRATAR A INFORMAÇÃO PULSO DE INUNDAÇÃO.
2:   if varInput = String  $\alpha$  + “pulso de inundação” +  $\beta$  e “pulso de inundação”
    $\notin$  OntoStruct e/ou  $\notin$  ListEq e/ou  $\notin$  ListNp then
3:     return varOut =
4:       “Sugestão 01: Pulso de inundação deve ser atributo da Classe que represente
       o conceito de Ambiente aquático e Área úmida. Este atributo define, analisa e ex-
       plica o intercâmbio lateral de água, nutrientes, e organismos entre rios ou lagos e as
       respectivas áreas alagáveis conectadas, definindo processos e padrões de assinatura
       hidrológica na mudança das condições ecológicas entre a fase terrestre e a aquática.
       Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
5:   else if varInput = String “pulso de inundação”  $\in$  OntoStruct then
6:     return varOut =
7:       “Sugestão 01: A informação Pulso de Inundação se encontra na OntoStruct:
       representa a informação  $\alpha$ ). Consulte o Dicionário Semântico da ontologia para mais
       análises.”
8:   else
9:     return varOut =
10:      “Nenhuma Heurística foi encontrada para tratar essa informação. Consulte o
       Dicionário Semântico da ontologia para mais análises.”
```

C Dicionário Semântico

C.1 Ambiente de Áreas Úmidas

1. **Contextualização**¹: A extensão de uma área úmida é determinada pelo limite da inundação rasa ou do encharcamento permanente ou periódico, ou no caso de áreas sujeitas aos pulsos de inundação, pelo limite da influência das inundações médias máximas, incluindo-se aí, se existentes, áreas permanentemente secas em seu interior, habitats vitais para a manutenção da integridade funcional e da biodiversidade das mesmas. Os limites externos são indicados pelo solo hidromórfico, e/ou pela presença permanente ou periódica de hidrófitas e/ou de espécies lenhosas adaptadas a solos periodicamente encharcados;
2. **Formalização**: *SubKind – SubClasseDe Ambiente*;
3. **Propriedade**: Caracterização, Nome popular e Região;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Mata ciliar, Mata riparia, Mata galeria, Olho dagua, Pântano, Restinga, Turfeiras, Vargem, Varjão, Várzea, Vereda.

C.2 Aquisição

1. **Contextualização**²: Obtenção de organismo silvestre animal, vegetal, fúngico ou microbiano, seja pela remoção do indivíduo do seu hábitat natural, seja pela colheita de amostras biológicas;
2. **Formalização**: *Relator*;
3. **Propriedade**: Coletor, Data da coleta, Hora da coleta, Localidade da coleta, Método da coleta, Número de campo, Quantidade e Tipo de aquisição;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

C.3 Área Protegida

1. **Contextualização**³: Uma área com limites geográficos definidos e reconhecidos, cujo intuito, manejo e gestão buscam atingir a conservação da natureza, de seus

¹ <http://www.inau.org.br/classificacao_areas_umidas_completo.pdf>.

² <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/images/stories/instrucoes_normativas/IN_154_coleta.pdf>.

³ <<http://www.mma.gov.br/areas-protetidas>>.

serviços ecossistêmicos e valores culturais associados de forma duradoura, por meios legais ou outros meios efetivos;

2. **Formalização:** *SubKind* – *SubClasseDe* **Espaço Geográfico**;
3. **Propriedade:** Nenhuma;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.4 Bioma

1. **Contextualização**⁴: Uma área do espaço geográfico, com dimensões até superiores a um milhão de quilômetros quadrados, representada por um tipo uniforme de ambiente, identificado e classificado de acordo com o macroclima, a fitofisionomia (formação), o solo e a altitude, os principais elementos que caracterizam os diversos ambientes continentais;
2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Fitofisionomia, Solo;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.5 Classificação Taxonômica

1. **Contextualização**⁵: Estudo descritivo de todas as espécies de seres vivos e sua classificação dentro de uma verdadeira hierarquia de grupamentos;
2. **Formalização:** *Relator*;
3. **Propriedade:** Ano de criação, Código do artigo, Descrição e Nome do autor;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.6 Características Bióticas

1. **Contextualização**⁶: Fatores ocasionados pela presença de seres vivos ou suas relações;

⁴ <[http://ecologia.ib.usp.br/ecovegetal/leituras/Coutinho_conceito_bioma_ACTA_20\(1\)_T_02.pdf](http://ecologia.ib.usp.br/ecovegetal/leituras/Coutinho_conceito_bioma_ACTA_20(1)_T_02.pdf)>.

⁵ <http://biologia.ifsc.usp.br/bio2/apostila/bio2_apostila_zoo_01.pdf>.

⁶ <http://www.ib.usp.br/ecosteios/textos_educ/costao/zonacao/bioticos.htm>.

2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Sexo, Habito alimentar, Estágio de maturidade e Estágio de vida;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.7 Coleção

1. **Contextualização**⁷: Coleção brasileira de 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*;
2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Código;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.8 Condição do Tempo

1. **Contextualização:** Condição metereológica instantânea;
2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Pressao atmosférica, Sensacao térmica, Umidade e Vento;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.9 Condição Climática

1. **Contextualização:** Média de 30 anos da condição do tempo;
2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Nenhum;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

⁷ <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/images/stories/instrucoes_normativas/IN_154_coleta.pdf>.

C.10 Divisão Administrativa de Primeira Ordem

1. **Contextualização**⁸: Representa a divisão administrativa de primeira ordem de um país, tal como o estado no Brasil;
2. **Formalização**: *Collective*;
3. **Propriedade**: Tipo;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

C.11 Divisão Administrativa de Segunda Ordem

1. **Contextualização**⁹: Representa a divisão administrativa de segunda ordem de um país, tal como o município no Brasil;
2. **Formalização**: *Collective*;
3. **Propriedade**: Tipo;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

C.12 Divisão Administrativa de Terceira Ordem

1. **Contextualização**¹⁰: Representa a divisão administrativa de terceira ordem de um país, tal como o distrito no Brasil;
2. **Formalização**: *Collective*
3. **Propriedade**: Tipo;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

C.13 Ecossistema

1. **Contextualização**¹¹: Significa um complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e de microorganismos e o seu meio inorgânico que interagem como uma unidade funcional;
2. **Formalização**: *Kind*;

⁸ <<http://www.geonames.org/export/codes.html>>.

⁹ <<http://www.geonames.org/export/codes.html>>.

¹⁰ <<http://www.geonames.org/export/codes.html>>.

¹¹ <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/cdbport_72.pdf>.

3. **Propriedade:** Nenhum;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.14 Espaço Geográfico

1. **Contextualização**¹²: É formado por dois componentes principais, o espaço materializado, representado pelos aspectos físicos, a natureza e as intervenções humanas e o espaço não materializado, dado pelas relações entre os indivíduos que habitam este espaço;
2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Altitude, Latitude, Longitude, Natureza jurídica e Posição relativa;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.15 Fases da Lua

1. **Contextualização**¹³: Representa a medida que a Lua viaja ao redor da Terra ao longo do mês, ela passa por um ciclo de fases, durante o qual sua forma parece variar gradualmente. O ciclo completo dura aproximadamente 29,5 dias;
2. **Formalização:** *Mode*;
3. **Propriedade:** Período visível;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.16 Fatores Abióticos

1. **Contextualização**¹⁴: Fatores ausentes da presença de seres vivos ou suas relações, mas sim pelas propriedades físicas e químicas da biosfera (fatores ambientais);
2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Água, Gás, Luminosidade, Ph, Pressao, Salinidade, Solo, Temperatura e Umidade;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e

¹² <http://www.ibge.gov.br/confest_e_confefe/pesquisa_trabalhos/arquivosPDF/M595_01.pdf>.

¹³ <<http://astro.if.ufrgs.br/lua/lua.htm>>.

¹⁴ <http://www.ib.usp.br/ecosteios/textos_educ/costao/zonacao/abioticos.htm>.

5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.17 Instituição Científica

1. **Contextualização**¹⁵: Instituição de ensino e pesquisa ou de pesquisa que desenvolva atividades de pesquisa de caráter científico ou tecnológico;
2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Código;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.18 Organismo

1. **Contextualização**¹⁶: Uma unidade autônoma com capacidade de agência, coletiva e evolutivamente construída, e possuindo propriedades que emergem no nível orgânico;
2. **Formalização:** *Kind*;
3. **Propriedade:** Nenhuma;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

C.19 País

1. **Contextualização:** Uma região geográfica considerada o território físico de um Estado soberano, ou de uma menor ou antiga divisão política dentro de uma região geográfica. Geralmente, mas nem sempre, um país coincide com um território soberano e está associado a um estado, nação ou governo;
2. **Formalização:** *Collective*;
3. **Propriedade:** Código;
4. **Equivalência:** Nenhuma; e
5. **Denominação Popular:** Nenhuma.

¹⁵ <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/images/stories/instrucoes_normativas/IN_154_coleta.pdf>.

¹⁶ <<http://www.ib.usp.br/revista/node/123>>.

C.20 Preservação Permanente

1. **Contextualização**¹⁷: São áreas reconhecidas como de utilidade pública, de interesse comum a todos e localizadas, em geral, dentro do imóvel rural, público ou particular, em que a lei restringe qualquer tipo de ação, no sentido de supressão total ou parcial da vegetação existente, para que se preservem com as plantas em geral, nativas e próprias, que cobrem a região. São as áreas localizadas especialmente nas imediações das nascentes e cursos d'água, as lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais, os topos de montanhas e serras, as encostas com acentuado, as restingas na faixa litorânea, as vegetações localizadas em altitudes superiores a 1.800 metros e as vegetações localizadas em determinadas áreas urbanas, assim definidas por lei específica;
2. **Formalização**: *SubKind* – *SubClasseDe* **Área Protegida**;
3. **Propriedade**: Nenhuma;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

C.21 Reservas Legais

1. **Contextualização**¹⁸: De acordo com o atual código florestal o Art. 3º para os efeitos desta Lei, entende-se por: (...) III - Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa;
2. **Formalização**: *SubKind* – *SubClasseDe* **Área Protegida**;
3. **Propriedade**: Nenhuma;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

¹⁷ <http://www.mp.go.gov.br/portaIweb/hp/9/docs/areas_de_preservacao_permanente_e_areas_de_reserva_legal.pdf>.

¹⁸ <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27492-o-que-e-reserva-legal/>>.

C.22 Species

1. **Contextualização**¹⁹: Um grupo de organismos que se cruzam entre si, sem normalmente cruzar-se com representantes de outros grupo;
2. **Formalização**: *Kind*;
3. **Propriedade**: Nome popular;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

C.23 Terra Indígena

1. **Contextualização**²⁰: De acordo com a Constituição Federal de 1988, a definição de terras tradicionalmente ocupadas pelos índios encontra-se no parágrafo primeiro do artigo 231 da Constituição Federal: são aquelas “por eles habitadas em caráter permanente, as utilizadas para suas atividades produtivas, as imprescindíveis à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e as necessárias a sua reprodução física e cultural, segundo seu usos, costumes e tradições”;
2. **Formalização**: *SubKind – SubClasseDe Área Protegida*;
3. **Propriedade**: Nenhuma;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

C.24 Unidade de Conservação

1. **Contextualização**²¹: É uma porção do território nacional ou de suas águas marinhas que é instituída pelo poder público municipal, estadual ou federal, como área sob regime especial de administração. Isso se dá pelo reconhecimento desta área possuir características naturais relevantes, à qual se aplicam garantias de proteção de seus atributos ambientais;
2. **Formalização**: *SubKind – SubClasseDe Área Protegida*;
3. **Propriedade**: Ano de criação, Área, Categoria, Grupo e Instância responsável;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

¹⁹ <http://biologia.ifsc.usp.br/bio2/apostila/bio2_apostila_zoo_01.pdf>.

²⁰ <<http://uc.socioambiental.org/territorios-de-ocupacao-tradicional/terras-ind%C3%ADgenas-0>>.

²¹ <<http://uc.socioambiental.org/areas-para-conservacao/unidades-de-conservacao>>.

C.25 Vegetação

1. **Contextualização**²²: É uma porção do território nacional ou de suas águas marinhas que é instituída pelo poder público municipal, estadual ou federal, como área sob regime especial de administração. Isso se dá pelo reconhecimento desta área possuir características naturais relevantes, à qual se aplicam garantias de proteção de seus atributos ambientais;
2. **Formalização**: *SubKind* – *SubClasseDe* **Área Protegida**;
3. **Propriedade**: Ano de criação, Área, Categoria, Grupo e Instancia responsável;
4. **Equivalência**: Nenhuma; e
5. **Denominação Popular**: Nenhuma.

²² <<http://www.cabdirect.org/abstracts/19770754008.html;jsessionid=FB1E6443206E9A8C8D2A4C61B9E66E6D>>

D Mapeamentos das Sugestões – Etapa Heurística

D.1 M-H001

Tabela 6 – Mapeamento da sugestão de mudança H-001.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-001
Problema Abordado	Representar informação referente ao conceito de Cota
Objetivo da Sugestão	Criar atributo que represente a informação <i>Cota</i> , o atributo deve ser da classe que represente o conceito de <i>Ambiente Aquático</i> e <i>Ambiente de Áreas Úmidas</i> ;
Tipo da Evolução	Enriquecimento;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	<i>Ambiente Aquático</i> e <i>Ambiente de Áreas Úmidas</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	É importante mapear a informação de Cota para entender a dinâmica em que o organismo foi coletado, por exemplo, se tem mais ocorrências na época de cheia.

Tabela 7 – Mapeamento da sugestão de mudança H-002.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-003
Problema Abordado	O termo <i>ocorrência</i> é normalmente utilizado pelos pesquisadores para determinar a existência ou presença de um organismo;
Objetivo da Sugestão	Criar instâncias para a classe que represente o conceito de <i>Características Bióticas</i> ;
Tipo da Evolução	Enriquecimento;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	<i>Características Bióticas</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Nenhum.

Tabela 8 – Mapeamento da sugestão de mudança H-003.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-004
Problema Abordado	Representar informação referente ao conceito de estratégia de fuga e/ou resposta de fuga;
Objetivo da Sugestão	Caso 1: Criar classe que represente as características comportamentais do indivíduo. Exemplo: <i>Atividade comportamental</i> como subclasse, representando o conceito <i>resposta de fuga</i> ; Caso 2: Criar atributo que represente o conceito de <i>Resposta de fuga</i> , o atributo deve pertencer a classe que represente o conceito <i>Espécie</i> ;
Tipo da Evolução	Enriquecimento;
Classificação de Mudança	Caso 1: Composta; Caso 2: Elementar;
Classes Afetadas	Caso 1: Nenhuma; Caso 2: Características Bióticas;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Para o Caso 1, deve-se analisar quais relacionamentos serão adicionados a classe e subclasse criadas e se outras classes/subclasses no modelo não serão afetadas.

Tabela 9 – Mapeamento da sugestão de mudança H-004.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-002
Problema Abordado	Capturar palavras com a terminação em <i>ívoros</i> e/ou <i>ívoros</i> ;
Objetivo da Sugestão	Criar instâncias para a classe que represente o conceito de <i>Hábito Alimentar</i> . Se o modelo não possui uma Classe que represente o conceito de <i>Hábito Alimentar</i> , então sua criação será necessária;
Tipo da Evolução	Populacional;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	<i>Hábito Alimentar</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Nenhum.

Tabela 10 – Mapeamento da sugestão de mudança H-005.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-005
Problema Abordado	O termo <i>Local Típico</i> é normalmente utilizado pelos pesquisadores para determinar um local de coleta;
Objetivo da Sugestão	Criar instância do atributo <i>Localidade de Coleta</i> . Caso ainda não exista, este deve ser criado como atributo da classe que represente o conceito <i>Aquisição</i> ou <i>Coleta</i> ;
Tipo da Evolução	Enriquecimento, caso o atributo <i>Localidade da Coleta</i> seja criado; e Populacional caso o atributo <i>Localidade de Coleta</i> exista e seja apenas instanciado;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	Aquisição ou Coleta;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Nenhum.

¹ Uma espécie endêmica é aquela espécie animal ou vegetal que ocorre somente em uma determinada área ou região geográfica. O endemismo é causado por quaisquer barreiras físicas, climáticas e biológicas que delimitem com eficácia a distribuição de uma espécie ou provoquem a sua separação do grupo original. Quando a separação ocorre por um longo período, o grupo isolado sofre uma seleção natural que desenvolve nele uma diferenciação de outros membros da espécie.

Tabela 11 – Mapeamento da sugestão de mudança H-006.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-006
Problema Abordado	Representar informação referente ao conceito de <i>Dieta</i> , <i>Alimento</i> e <i>Alimentação</i> ;
Objetivo da Sugestão	Caso 1: Criar instância da classe que represente o conceito <i>Hábito Alimentar</i> ; Caso 2: Criar instância da classe que represente o conceito de <i>Alimento</i> , onde cada organismo possui instâncias específicas, de acordo com sua alimentação. Este conceito é diferente do conceito <i>Hábito Alimentar</i> , pois representa o conjunto de alimentos possíveis que podem ser ingeridos pelo organismo, e não se o organismo é carnívoro, herbívoro e etc;
Tipo da Evolução	Enriquecimento, caso a classe <i>Hábito Alimentar</i> seja criada; e Populacional caso a classe já exista e seja apenas as suas instâncias precisem ser criadas;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	<i>Hábito Alimentar</i> ou <i>Alimento</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Deve-se adicionar quais relacionamentos serão adicionados a classe criada; Deve-se criar uma classe que represente o conceito <i>Alimento</i> , se o Caso 2 for escolhido.

Tabela 12 – Mapeamento da sugestão de mudança H-007.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-007
Problema Abordado	Representar informação referente ao conceito de <i>Perturbação Ambiental</i> ;
Objetivo da Sugestão	Caso 1: Criar atributo que represente o conceito <i>Perturbação Ambiental</i> , o atributo deve pertencer a classe que represente o conceito de <i>Ambiente</i> ; Caso 2: Criar classe que represente o conceito de <i>Perturbação Ambiental</i> , onde serão instanciados tipos de perturbação, tais como: Desmatamento de grandes áreas para agricultura, pasto, crescimento urbano, dentre outros. Uma relação entre os conceitos <i>Perturbação Ambiental</i> e <i>Ambiente</i> deve ser criada;
Tipo da Evolução	Enriquecimento, em ambos os casos;
Classificação de Mudança	Elementar, em ambos os casos;
Classes Afetadas	Caso 1: <i>Ambiente</i> ; Caso 2: Nenhuma;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Com a determinação do valor de <i>Perturbação Ambiental</i> , poderia-se estipular quão danificado um ambiente está, correlacionando este com espécies e etc. O valor pode ser atualizado de acordo com a observação atual do ambiente.

Tabela 13 – Mapeamento da sugestão de mudança H-008.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-008
Problema Abordado	Representar informação referente ao conceito <i>Habitat</i> ;
Objetivo da Sugestão	Criar instância da classe que representa o conceito <i>Ambiente</i> ;
Tipo da Evolução	Populacional;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	<i>Ambiente</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Nenhum.

Tabela 14 – Mapeamento da sugestão de mudança H-009.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-009
Problema Abordado	Representar a informação referente ao conceito de Estratégia de conservação para ambientes que possuem animais endêmicos e estão ameaçados pela construção de usinas hidrelétricas na Amazônia;
Objetivo da Sugestão	Criar um atributo que represente o significado de Endemismo ¹ . Esse atributo deve pertencer a classe que represente o conceito de Espaço Geográfico.
Tipo da Evolução	Enriquecimento;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	Espaço Geográfico;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Com a criação deste atributo com valores quantitativos, inferências podem ser feitas para avaliação de estratégias de impacto ambiental e políticas de prevenção da biodiversidade. A quantidade de espécies endêmicas em uma determinada região serve de alerta para políticas de conservação. O atributo deve receber valores numéricos.

Tabela 15 – Mapeamento da sugestão de mudança H-010.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-010
Problema Abordado	Representar a informação referente ao conceito de <i>Fator Limitador</i> ;
Objetivo da Sugestão	Caso 1: Criar um atributo que represente o significado de <i>Fator Limitador</i> . Esse atributo deve pertencer a classe que representa o conceito de <i>Características Bióticas</i> ; Caso 2: Criar uma classe que represente o conceito de <i>Fator Limitador</i> , onde serão instanciados tipo de perturbação como: Forte turbulência da água que limita a presença da maioria das espécies de peixes;
Tipo da Evolução	Enriquecimento, em ambos os casos;
Classificação de Mudança	Elementar, em ambos os casos;
Classes Afetadas	Caso 1: <i>Características Bióticas</i> ; Caso 2: <i>Organismo</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Caso 1: Esse atributo representará características limitadoras para existência de determinado indivíduo; Caso 2: Vale ressaltar que para esta sugestão, uma relação entre o conceito <i>Fator Limitador</i> e o conceito <i>Organismo</i> deve ser criada.

Tabela 16 – Mapeamento da sugestão de mudança H-011.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-011
Problema Abordado	Representar a informação referente ao conceito de <i>Condição Climática</i> ;
Objetivo da Sugestão	Criar uma classe que represente o conceito de <i>Condição Climática</i> , onde serão instanciados exemplos como: estação chuvosa, estação seca;
Tipo da Evolução	Enriquecimento;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	Ambiente;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Vale ressaltar que para esta sugestão, uma relação entre o conceito <i>Condição Climática</i> e o conceito que represente <i>Região/Ambiente</i> deve ser criada. Esta relação permitirá ligar uma <i>Região α</i> , com uma <i>Estação β</i> .

Tabela 17 – Mapeamento da sugestão de mudança H-012.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-012
Problema Abordado	Representar a informação referente ao conceito, <i>Encontro Ocasional</i> ;
Objetivo da Sugestão	Caso 1: Criar instância de classe que representa o conceito de <i>Método de Coleta</i> , se esta classe não existe no modelo, sua criação é necessária. A instância representaria o tipo <i>Método de Coleta: Encontro Ocasional</i> ; Caso 2: Criar instância do atributo <i>Localidade da Coleta</i> . Ex: Encontrados ocasionalmente em pequenos Riachos;
Tipo da Evolução	Populacional, em ambos os casos;
Classificação de Mudança	Elementar, em ambos os casos;
Classes Afetadas	Caso 1: <i>Método de Coleta</i> ; Caso 2: <i>Aquisição</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Com a criação deste atributo com valores quantitativos, inferências podem ser feitas para avaliação de estratégias de impacto ambiental e políticas de prevenção da biodiversidade. A quantidade de espécies endêmicas em uma determinada região serve de alerta para políticas de conservação.

Tabela 18 – Mapeamento da sugestão de mudança H-013.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	H-013
Problema Abordado	Representar a informação referente ao conceito <i>Pulso de Inundação</i> ;
Objetivo da Sugestão	Criar um atributo que represente o significado de <i>Pulso de Inundação</i> . Esse atributo deve pertencer as classes que representam os conceitos de <i>Ambiente Aquático</i> e <i>Ambiente de Áreas Úmidas</i> ;
Tipo da Evolução	Enriquecimento;
Classificação de Mudança	Elementar;
Classes Afetadas	<i>Ambiente Aquático</i> e <i>Ambiente de Áreas Úmidas</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	O atributo define, analisa e explica o intercâmbio lateral de água, nutrientes, e organismos entre rio ou lagos e as respectivas áreas alagáveis conectadas, definindo processos e padrões de assinatura hidrológica na mudança das condições ecológicas entre a fase terrestre e a aquática.

E Mapeamento das Sugestões – Etapa Ontológica

Tabela 19 – Mapeamento da sugestão de mudança O-001.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	O-001
Problema Abordado	Representar as informações referente aos conceitos de <i>Cota</i> , <i>Esforço de coleta</i> , <i>Presença de risco</i> (risco ambiental), <i>Método de coleta</i> mais indicado (para um determinado grupo de organismos), <i>Rota de fuga</i> , <i>Período de coleta</i> , <i>Comportamento alimentar</i> e <i>Hábito alimentar</i> ;
Objetivo da Sugestão	Criar atributos que representem a informação <i>Cota</i> , <i>Esforço de coleta</i> , <i>Presença de risco</i> (risco ambiental), <i>Método de coleta mais indicado</i> (para um determinado grupo de indivíduos); <i>Rota de fuga</i> ; <i>Período de coleta</i> ; <i>Comportamento alimentar</i> e <i>Hábito alimentar</i> .
Tipo da Evolução	Enriquecimento;
Classificação de Mudança	Complexa;
Classes Afetadas	<i>Aquisição</i> , <i>Ambiente Aquático</i> , <i>Ambiente</i> e <i>Species</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Os conceitos <i>Cota</i> e <i>Rota de fuga</i> foram também sugeridos na etapa Heurística. Isso indica uma convergência para utilização destas sugestões na OntoBio ^R .

Tabela 20 – Mapeamento da sugestão de mudança O-002.

Mapeamento da Sugestão de Mudança – Etapa Heurística	
ID	O-002
Problema Abordado	Representar informações referente aos conceitos de <i>Descrição específica</i> do ambiente e <i>Coloração em vida</i> de um organismo. Além de representar as informações sobre os <i>sonogramas</i> e <i>fotografia</i> dos espécimes;
Objetivo da Sugestão	Criar atributos que representem a informação <i>Descrição específica</i> ; <i>Coloração em vida</i> ; <i>Sonograma</i> e <i>Fotografia</i> ;
Tipo da Evolução	Enriquecimento;
Classificação de Mudança	Complexa;
Classes Afetadas	<i>Aquisição</i> e <i>Ambiente</i> ;
Propriedades Afetadas	Nenhuma;
Indivíduos Afetados	Nenhum;
Axiomas Afetados	Nenhum;
Comentários	Os atributos <i>Fotografia</i> e <i>Sonograma</i> são importantes para representar informações de indivíduos que não necessariamente são capturados. As vezes o material de tombamento das coleções não é um <i>voucher</i> (o próprio indivíduo), mas sim um por exemplo.

F Conjuntos de Dados para o Processo de Sugestões de Mudanças

F.1 OntoStruct

Classe: Unidade de Conservacao; C.Sub_Classe: Area Protegida; C.Propriedade: Categoria (String), Grupo (String), Instancia Responsavel (String), Area (String), Ano de Criacao (String); C.Estereotipo: SubKind; C.Individuos: Bom Futuro, Jamari, Macaua, Auiaba, Alto Maues, Grao Para, Aguas da Cuiaba, Capetinga Taquara, Baixo Rio Branco, Costa dos Corais, Fazendinha, Baleia Franca;

Classe: Area protegida; C.Sub_Classe: Espaco geografico; C.Estereotipo: SubKind;

Classe: Caracteristicas Bioticas; C.Propriedade: Sexo (char), Estagio de vida (char), Estagio de maturidade (char), Habito alimentar (char); C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Fatores Abioticos; C.Propriedade: Agua (char), Gas (char), Luminosidade (char), Ph (float), Pressao (float), Salinidade (float), Solo (char), Temperatura (float), Umidade (float); C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Organismo; C.Estereotipo: Kind;

Classe: Terra indigena; C.Sub_Classe: Area protegida; C.Estereotipo: SubKind;

Classe: Pais; C.Estereotipo: Collective;

Classe: Divisao administrativa de primeira ordem; C.Propriedade: Tipo (char); C.Estereotipo: Collective;

Classe: Divisao administrativa de segunda ordem; C.Propriedade: Tipo (char); C.Estereotipo: Collective;

Classe: Divisao administrativa de terceira ordem; C.Propriedade: Tipo (char); C.Estereotipo: Kind;

Classe: Reservas legais; C.Sub_Classe: Area protegida; C.Estereotipo: SubKind;

Classe: Preservacao permanente; C.Sub_Classe: Area protegida; C.Estereotipo: Sub-Kind;

Classe: Pessoa; C.Propriedade: Especializacao (char); C.Estereotipo: SubKind;

Classe: Instituicao de pesquisa; C.Propriedade: Codigo (char); C.Estereotipo: Kind;

Classe: Colecao; C.Estereotipo: Kind; C.Propriedade: Codigo (char); C.Individuos:

Classe: Aquisicao C.Estereotipo: Relator; C.Propriedade: Coletor (char) Data da co-

leta (char), Hora da coleta (char), Localidade da coleta (char), Metodo de coleta (char), Numero de campo (char), Quantidade (char), Tipo de aquisicao (char); C.Individuos:

Classe: Condicao do Tempo; C.Propriedade: Umidade (String), Pressao Atmosferica (String), Vento (String), Sensacao Termica (String); C.Estereotipo: Mode; C.Individuos: Pancadas de Chuva, Ceu Encoberto, Muitas Nuvens, Alguma Nebulosidade, Poucas Nuvens;

Classe: Fases da Lua; C.Propriedade: Periodo Visivel (char); C.Estereotipo: Mode; C.Individuos: Cheia, Minguante Concova, Nova, Crescente Concova, Quarto Crescente, Crescente Convexa, Quarto Minguante, Minguante Convexa;

Classe: Ambiente de Areas Umidas; C.Sub_Classe: Ambiente; C.Propriedade: Regiao (char), Caracterizacao (char), Nome Popular (char); C.Estereotipo: SubKind; C.Individuos: AU Area Costeira, AU Sul do Brasil, AU Amazonia Central, AU Sul do Brasil;

Classe: Espaco geografico; C.Propriedade: Altitude (char), Latitude (char), Longitude (char), Natureza juridica (char), Posicao relativa (char); C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Ambiente aquatico; C.Sub_Classe: Ambiente; C.Estereotipo: SubKind; C.Individuos:

Classe: Ambiente terrestre; C.Sub_Classe: Ambiente; C.Estereotipo: SubKind; C.Individuos:

Classe: Vegetacao; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Classificacao taxonomica; C.Propriedade: Ano de descricao (char),Codigo do artigo (char), Descricao (char), Nome do autor (char); C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Bioma; C.Propriedade: Fitofisionomia (char); C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Species; C.Propriedade: Nome popular (String); C.Estereotipo: Kind; C.Individuos: Fareatos;

Classe: Elemento taxonomico; C.Estereotipo: Category; C.Individuos: Fareatos;

Classe: Regnum; C.Sub_Classe: Elemento taxonomico; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Phylum; C.Sub_Classe: Elemento taxonomico; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Classis; C.Sub_Classe: Elemento taxonomico; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Ordo; C.Sub_Classe: Elemento taxonomico; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Familia; C.Sub_Classe: Elemento taxonomico; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Genus; C.Sub_Classe: Elemento taxonomico; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Subphylum; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Subclassis; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Subordo; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Infraordo; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Subfamilia; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Tribus; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Superfamilia; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Supergenus; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Superspecies; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Subgenus; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Subspecies; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Varietas; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Forma; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos:

Classe: Codigo de Catalogacao; C.Estereotipo: Kind; C.Individuos: INPA-ICT 000001, INPA-ICT 000002, INPA-ICT 000003, INPA-ICT 000004, INPA-ICT 000005, INPA-ICT 000006, INPA-ICT 000007, INPA-ICT 000008, INPA-ICT 000009, INPA-ICT 000010, INPA-ICT 000011, INPA-ICT 000012, INPA-ICT 000013, INPA-ICT 000014, INPA-ICT 000015, INPA-ICT 000016, INPA-ICT 000017, INPA-ICT 000018;

Propriedade: Categoria; P.Classe: Unidade de Conservacao; P.Instancia: Floresta Nacional, Area de Relevante Interesse Ecologico, Estacao Ecologica, Area de Protecao Ambiental;

Propriedade: Grupo; P.Classe: Unidade de Conservacao; P.Instancia: Uso Sustentavel, ProteÁ,,o Integral;

Propriedade: Instancia Responsavel; P.Classe: Unidade de Conservacao; P.Instancia: Federal, Estadual;

Propriedade: Ano de Criacao; P.Classe: Unidade de Conservacao; P.Instancia: 1985, 2002, 2001, 2014, 1988, 1990, 2006, 1984;

Propriedade: Localidade da Coleta; P.Classe: Aquisicao; P.Instancia: Rio Solimoes/Furo do Paracuuba, Rio Solimoes/Ilha da Marchantaria, Reserva Adolfo Ducke, Rio Tefe/Lago Caititu, Rio Japura/Parana do Juacaca, BR.174/Igarape Km 17, Br 174 km 17 Afluente do Taruma-AÁu, Rio Solimoes/Lago Janauaca/Lago Castanho, Rio Solimoes/Lago Xiborena, Rio Solimoes/Furo Paracuuba/Entre Solimies e Negro, Rio Solimies/Lago Janauaca, Igarape do Veado/BR 174, Rio Preto da Eva, Rio Negro/Boca Cuieiras;

Propriedade: Data da Coleta; P.Classe: Aquisicao; P.Instancia: 17.10.1978, 01.03.1978, 01.03.1979, 01.03.1980, 01.03.1981, 01.03.1982, 01.03.1983, 01.03.1984, 01.03.1985, 01.03.1986, 01.03.1987, 01.03.1988, 01.03.1989, 01.03.1990, 01.03.1991, 01.03.1992, 01.03.1993;

Propriedade: Numero de Campo; P.Classe: Aquisicao; P.Instancia: PL78101701, EQI780301, EII76032001, WF78103101, RB79042501, ESJ79083105, PBB78100602, MPF78101401,

PL78102301, PL78102303, PL78102508, PL78102507, EIDI80062603, PL78110602, PL78110602, PL78110801, EII78111301, EIDI78112401, AJD781020, VP78103101, VP78103102;

Propriedade: Tipo de Aquisicao; P.Classe: Aquisicao; P.Instancia:

Propriedade: Sexo; P.Classe: Fatores Abioticos; P.Instancia: Masculino, Feminino, Hermafrodita, Assexuado, Propriedade: Regiao; P.Classe: Ambiente Area Umida; P.Instancia: Sul do Brasil, Parana, Brasil, Amazonia Central, Area Costeira, Roraima, Mato Grosso, Tocantins, Goiais, Regi, o do Cerrado;

Propriedade: Nome Popular; P.Classe: Ambiente Area Umida; P.Instancia: Baixadas Litoraneas, Restinga, Banhado, Branquilha, Brejo, Buritizal, Campina, Campinarana, Carnaubal, Estuarios, Igapo, Lagunas Costeiras, Lavrados Manguezal, Olho de Agua, Pantano Restinga, Turfeiras, Vargem Varjao Varzea, Varzea Vereda, Mata ciliar, Mata Riparia, Mata Galeria;

Propriedade: Habito alimentar; P.Classe: Caracteristicas bioticas; P.Instancia: Herbivoro, Detritivoro, Carnivoro, Nectivoro, Planctivoro, Onivoro;

F.2 Lista de Equivalência

Classe.Ambiente de Areas Umidas: | Zona Umida | Wetlands

F.3 Lista de Denominação Popular

Classe.Especie; C.Instancia: guira; NomePopular: Quiriru

Classe.Especie; C.Instancia: domesticus; NomePopular: Pardal

Classe.Especie; C.Instancia: leucomelas; NomePopular: Carachué

Classe.Especie; C.Instancia: carbo; NomePopular: Pipira

Classe.Especie; C.Instancia: geoffrensis; NomePopular: Boto Vermelho

Classe.Especie; C.Instancia: hydrochaeris; NomePopular: Capivara

Classe.Especie; C.Instancia: marsupialis; NomePopular: Mucura

Classe.Especie; C.Instancia: murina; NomePopular: Gambá

Classe.Especie; C.Instancia: noctivaga; NomePopular: Mucura

Classe.Especie; C.Instancia: opossum; NomePopular: Gamba

Classe.Especie; C.Instancia: parvidens; NomePopular: Mucura

Classe.Especie; C.Instancia: philander; NomePopular: Gambá

Classe.Especie; C.Instancia: terrestris; NomePopular: Anta

Classe.Especie; C.Instancia: vociferans; NomePopular: Cri-cri-ó

Classe.Especie; C.Instancia: cayennensis; NomePopular: Coró-coró

Classe.Especie; C.Instancia: hoazin; NomePopular: Cigana

Classe.Especie; C.Instancia: maculosa; NomePopular: Codorna

Classe.Especie; C.Instancia: leucorhoa; NomePopular: Andorinha do Mar

Classe.Especie; C.Instancia: lineola; NomePopular: Bigodinho

Classe.Especie; C.Instancia: alba; NomePopular: Garça Real

Classe.Especie; C.Instancia: gularis; NomePopular: Galo da Campina

Classe.Especie; C.Instancia: fareatos; NomePopular: Bagre do Poço

Classe.Ambiente de Areas Umidas; C.Instancia: ; NomePopular: Mata ciliar, Mata riparia, Mata galeria, Olho d'água, Pantano, Restinga, Turfeiras, Vargem, Varjao, Varzea, Vereda

G Modelos Ontológicos

G.1 OntoBio

Esquema detalhado da ontologia para o domínio da biodiversidade – OntoBio – proposta por (ALBUQUERQUE, 2011).

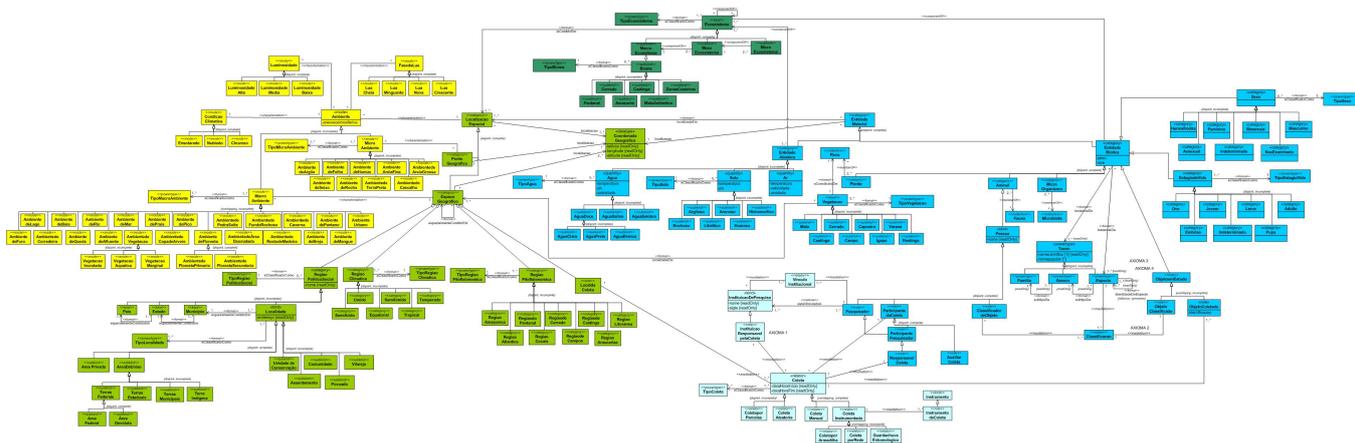


Figura 38 – Esquema detalhado da OntoBio.

Fonte: (ALBUQUERQUE, 2011).

G.2 OntoBio^R

Esquema detalhado da OntoBio^R, que se trata da reestruturação da OntoBio, apresentada no Apêndice A.

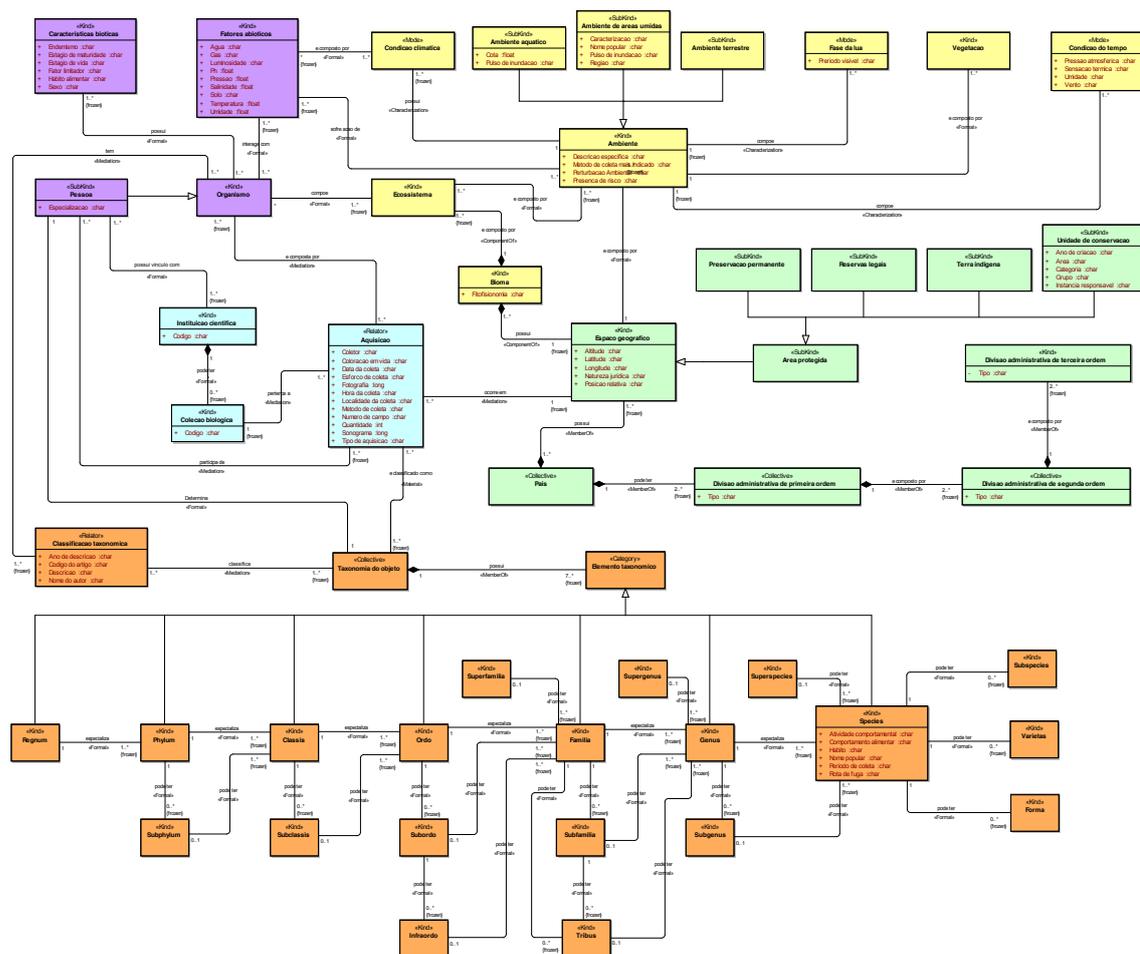


Figura 40 – Esquema detalhado da OntoBio^R Evoluída.