UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ACADÊMICA EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

MARIA RENAY BARBOSA DA SILVA

IMUNO-ONTO: Uma DL-Ontology para o Domínio Imunobiológico

Recife

2023

MARIA RENAY BARBOSA DA SILVA

IMUNO-ONTO: Uma DL-Ontology para o Domínio Imunobiológico

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Inteligência Artificial

Orientador (a): Frederico Luiz Gonçalves de Freitas

Coorientador (a): Cleyton Mário de Oliveira Rodrigues

Recife

2023

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Silva, Maria Renay Barbosa da.
IMUNO-ONTO: Uma DL-Ontology para o Domínio Imunobiológico / Maria Renay Barbosa da Silva. - Recife, 2023.
80f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, 2023.
Orientação: Frederico Luiz Gonçalves de Freitas.
Coorientação: Cleyton Mário de Oliveira Rodrigues.

1. Ontologia; 2. Vacina; 3. UFO; 4. Methontology; 5. Web semântica. I. Freitas, Frederico Luiz Gonçalves de. II. Rodrigues, Cleyton Mário de Oliveira. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

Maria Renay Barbosa da Silva

“"IMUNO-ONTO: Uma DL-Ontology para o Domínio Imunobiológico“

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração: Inteligência Computacional.

Aprovado em: 28/09/2023.

_____

Orientador: Prof. Dr. Frederico Luiz Gonçalves de Freitas

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Cleyton Mário de Oliveira Rodrigues
Faculdade de Formação de Professores de Garanhuns Magano / UPE

_____

Prof. Dr. Amadeu Sá de Campos Filho
Núcleo de Telessaúde / UFPE

_____

Prof. Dr. Filipe Santana da Silva
Departamento de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas / UFCSPA
(**coorientador**)

Dedico a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me incentivaram até chegar aqui. Agradeço à minha família por estarem comigo em todos os momentos, especialmente à minha mãe e irmã, assim como aos amigos que considero como irmãos. Expresso minha gratidão aos professores que fizeram parte desta trajetória, em especial aos meus orientadores Fred e Cleyton, aos quais tenho muita admiração e respeito.

RESUMO

Destacando o cenário brasileiro, observam-se diversas iniciativas tecnológicas voltadas para abordar os desafios enfrentados pelo Sistema Único de Saúde (SUS), sendo que muitas dessas iniciativas foram pouco avaliadas de maneira crítica. As vacinas representam uma medida rofilática eficaz e fundamental para reduzir a incidência de doenças, podendo, em alguns casos, contribuir para sua erradicação.Conscientes dos desafios de interoperabilidade que afetam os sistemas de saúde e cientes de que ontologias podem estabelecer uma terminologia comum, idealmente inequívoca, em um domínio específico, o **objetivo** deste trabalho consiste na modelagem voltada para a especificação conceitual no domínio Imunobiológico (vacinas), denominada IMUNO-ONTO. A **metodologia** de desenvolvimento adotada baseou-se na utilização da Methontology para conceber um modelo conceitual ontológico sólido. Para a materialização deste modelo, selecionamos as ferramentas OLED (OntoUML Lightweight Editor), empregada para modelar a ontologia em conformidade com os princípios da ontologia de topo UFO (Unified Foundational Ontology), e posteriormente o Protegé, utilizado para realizar testes de integridade e estudos de caso, com o intuito de validar e aprimorar a ontologia proposta. Apresentamos ainda como avaliação do modelo proposto um conjunto de estratégias, como: (i) avaliação por estudos de caso, (ii) avaliação com especialista e (iii) verificação automática da consistência do modelo.Tendo como **resultado** estudos de casos que retornaram resultados satisfatórios considerando cada cenário apresentado, a avaliação com o especialista foi essencial para compreender os desafios e buscar entender se o modelo ontológico atende às necessidades dos profissionais de saúde, assim como para estudantes e usuários em geral, uma vez que esse mesmo profissional possui a experiência de ensino em sala de aula, atuação profissional no manuseio e documentação dos imunobiológicos e atendimento aos usuários do sistema básico de saúde. Ao final, discutimos sobre as potencialidades e os limites identificados durante a realização da etapa de avaliação, como a existência de exceções no contexto vacinal, onde a lógica tradicional não é a mais intuitiva, sendo destacada a possibilidade futura de explorar a lógica descritiva preferencial.

Palavras-chaves: Ontologia. Vacina. UFO. Methontology. Web semântica.

ABSTRACT

To address the challenges faced by the Unified Health System (SUS), with many of these initiatives receiving little critical evaluation. Vaccines represent an effective and fundamental prophylactic measure to reduce the incidence of diseases, and can, in in some cases, contribute to its eradication. Aware of the interoperability challenges that affect healthcare systems and aware that ontologies can establish a common, ideally unambiguous, terminology in a specific domain, The **objective** of this work is modeling aimed at conceptual specification in the Immunobiological domain (vaccines), called IMUNO-ONTO. The development **methodology** adopted was based on the use of Methontology to design a solid ontological conceptual model. To materialize this model, we selected the tools OLED (OntoUML Lightweight Editor), used to model the ontology in accordance with the principles of the top UFO ontology (Unified Foundational Ontology), and later Protegé, used to carry out integrity tests and studies case, with the aim of validating and improving the proposed ontology. We also present a set of strategies as an evaluation of the proposed model, such as: (i) evaluation using case studies, (ii) evaluation with an expert and (iii) automatic verification of the model's consistency. As a **result** of case studies that returned satisfactory results considering each scenario presented, the evaluation with the specialist was essential to understand the challenges and seek to understand whether the ontological model meets the needs of health professionals, as well as students and users in general, since this same professional has experience teaching in the classroom, professional experience in handling and documenting immunobiologicals and serving users of the basic health system. In the end, we discuss the potential and limits identified during the evaluation stage, such as the existence of exceptions in the vaccination context, where the traditional logic is not the most intuitive, highlighting the future possibility of exploring the preferred descriptive logic.

Keywords: Ontology. Vaccine. UFO Methontology. Semantic Web.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caso de uso de consulta em uma ontologia de vacinas 16
Figura 2 – Calendário Vacinal - Crianças 19
Figura 3 – Arquitetura da Web Semântica 22
Figura 4 – Tipologia de universais substanciais da UFO 29
Figura 5 – Modelo Conceitual da IMUNO-ONTO 42
Figura 6 – Relações do conceito Vacina 43
Figura 7 – Relações do conceito Pessoa 45
Figura 8 – Relações do conceito Doença 46
Figura 9 – Super Conceitos no Protegé 49
Figura 10 – Conceito Vacina 49
Figura 11 – Conceito vacina e doença 50
Figura 12 – Conceitos Antigeno, composição,esquema vacinal e Via de adm. 51
Figura 13 – Conceito Pessoa 52
Figura 14 – OLED (ontouml lights editor) 59
Figura 15 – Verificação de erros na ferramenta OLED (1) 60
Figura 16 – Verificação de erros na ferramenta OLED (2) 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Construtos da Lógica Descritiva 24
Tabela 2 – Áreas de aplicação de ontologias 26
Tabela 3 – Tipos de ontologias 27
Tabela 4 – Estereótipos dos conceitos da UFO 30
Tabela 5 – Etapas da Methontology 32
Tabela 6 – Critérios de seleção 33
Tabela 7 – Trabalhos Selecionados 34
Tabela 8 – Terminologia 37
Tabela 9 – Relações do conceito Vacina com outros conceitos 50

LISTA DE SÍMBOLOS

$\sqcap$	interseção
$\sqcup$	União
$\neg$	negação
$\top$	Conceito Top
$\bot$	Conceito Bottom
$\exists$	Relação Existencial
$\forall$	Relação Universal
$\sqsubseteq$	Inclusão
$\equiv$	Equivalência
$\mathcal{A}$	Conceito Atômico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA 11
1.2 PERGUNTA DE PESQUISA 14
1.3 OBJETIVOS E METAS 14
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
1.5 CENÁRIO MOTIVACIONAL - POSSÍVEIS BENEFICIADOS 15
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 16
2 REFERENCIAL TEÓRICO 18
2.1 VACINA 18
2.1.1 WEB SEMÂNTICA 21
2.2 AS LÓGICAS DESCRITIVAS 23
2.2.1 Ontologia 25
2.3 UFO (UNIFIED FOUNDATIONAL ONTOLOGY) 28
2.4 ENGENHARIA ONTOLÓGICA 30
2.5 TRABALHOS RELACIONADOS 33
3 METODOLOGIA 37
4 MODELO CONCEITUAL EMBASADO NA UFO 41
4.1 IMUNO-ONTO 41
4.1.1 O Conceito Vacina 41
4.1.2 O Conceito Pessoa 44
4.1.3 O Conceito Doença 46
4.1.4 Ferramenta de Modelagem: OLED 47
5 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO IMUNO-ONTO 48
5.1 IMPLEMENTAÇÃO NO PROTÉGÉ 48
5.2 AXIOMATIZAÇÃO NA LÓGICA DESCRITIVA 52
6 AVALIAÇÃO ONTOLÓGICA 58
6.1 CONSISTÊNCIA ONTOLÓGICA 58
6.2 ESTUDO DE CASO 61
6.2.1 Estudo de Caso: Verificação da Vacinação por Idade 61
6.2.2 Estudo de Caso: Sem comprovação de vacinação 61

6.3 AVALIAÇÃO DO ESPECIALISTA 62
6.4 ESTUDO DE CASO COM ESPECIALISTA 64
6.4.1 Estudo de Caso: Caso da Hepatite 64
6.4.2 Estudo de Caso: Caso do Agricultador com Amputação 64
6.5 CONSIDERAÇÕES DA AVALIAÇÃO 65
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 66
7.1 CONTRIBUÇÕES DA PESQUISA 67
7.2 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS 68
REFERÊNCIAS 69
APÊNDICE A – GLOSSÁRIO 73
APÊNDICE B – ONTOLOGIA NO PROTEGÉ 76

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar o contexto e a justificativa que se concentram no processo de construção ontológica para o domínio imunológico, especificamente no contexto das vacinas. A pesquisa em ontologias desempenha um papel fundamental no avanço da computação, permitindo a representação formal do conhecimento em domínios complexos como a imunologia.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Um obstáculo inerente ao desenvolvimento das ferramentas no âmbito da saúde reside na necessidade de manutenção e atualização constante dos profissionais envolvidos, o que abrange ainda a necessidade de buscar, filtrar, organizar e indexar o conhecimento relevante da área. Aprofundando tal desafio, o exorbitante volume de informações existentes, conjugado ao fato de uma única informação poder estar representada em modelos distintos, concorre para o surgimento de um fenômeno de complexidade. Este fenômeno, por sua vez, se traduz em uma barreira significativa para a intercambiabilidade de informações entre sistemas diversos. A situação resultante manifesta-se como uma problemática de ordem considerável, caracterizada pela heterogeneidade presente nas bases de dados (PASINI, 2016).

O Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunização (SIPNI), implementado em 2010 com o objetivo de substituir os sistemas locais de imunização, tem a finalidade de registrar individualmente cada vacinado. Apesar dos benefícios e do fato de encontrar-se em uma fase avançada de implementação no Brasil, foram identificados alguns desafios relacionados à operacionalização, integralidade e qualidade dos dados coletados, envolvendo a duplicação de subregistros. Aspectos como escassez de recursos humanos capacitados e déficit em tecnologia da informação estão implicados, resultando na ineficiência das atualizações dos sistemas (SILVA et al., 2020).

Ao discutir a saúde digital, que apresenta significativos desafios no contexto da saúde coletiva, torna-se imperativo examinar os impactos das tecnologias digitais nas políticas de saúde. Ao abordar a informatização da atenção à saúde, desdobram-se estratégias relacionadas à saúde digital, incluindo a integração de estabelecimentos de saúde públicos e privados. A Rede Nacional de Dados em Saúde (RNDS) representa uma plataforma nacional dedicada

à integração e interoperabilidade de informações em saúde entre estabelecimentos públicos e privados. Trata-se de uma estratégia fundamental do Estado Brasileiro no contexto das informações em saúde, desempenhando papel essencial no movimento de plataformização no Sistema Único de Saúde (SUS) (RACHID et al., 2023).

Quanto à Estratégia de Saúde Digital, que estipula a consolidação da RNDS e sua integração com a plataforma digital de informações e os serviços de saúde em todo o Brasil até 2028, tanto os gestores públicos quanto os privados passarão a inserir dados de maneira robusta na RNDS, abrangendo informações como aplicação de vacinas e registros hospitalares (RACHID et al., 2023).

O uso da RNDS foi fomentado com o intuito de apoiar o combate à Covid-19 desde o início do processo de imunização, coletando as informações das vacinas e disponibilizando-as como uma carteira de vacinação independente do local em que ocorre a administração. Trata-se de um serviço relevante para a população que utiliza o SUS, assim como para todas as esferas governamentais (JÚNIOR, 2021).

Destacando o cenário brasileiro, observam-se diversas iniciativas tecnológicas destinadas a abordar os desafios enfrentados pelo Sistema Único de Saúde (SUS), tais como o Cartão SUS, DigiSUS e Conecte SUS, sendo uma das mais recentes a Estratégia de Saúde Digital. No entanto, é importante ressaltar que essas iniciativas foram pouco avaliadas de maneira crítica. Ao considerar soluções em big data e ter uma visão abrangente do mercado tecnológico, a universalidade pode apresentar desafios, correndo o risco de excluir populações e grupos sociais que não gerem interesses econômicos para os atores privados (RACHID et al., 2023).

Os autores Santos, Adamatti e Billa (2022)que, para as tecnologias centradas na saúde, é de suma importância manter o usuário no centro do processo de desenvolvimento, uma premissa clássica envolvendo o desenvolvimento de software. Isso se traduz na aproximação do usuário ao sistema de maneira intrinsecamente interativa e acessível, resultando em uma condição atrativa que influencia positivamente sua tomada de decisão.

Essa atenção voltada ao usuário se revela de significativa importância quando se aborda o domínio de acesso à informação. Isso adquire particular relevância, dada a propensão a disseminação de informações falsas, boatos e, inclusive, desinformação científica no contexto da saúde. Tais ocorrências acarretam um impacto substancial, conduzindo a distorções no entendimento das pessoas, como exemplificado no contexto da segurança e eficácia das vacinas. Este fenômeno incide em repercussões tangíveis no mundo real, exercendo efeitos variados, notadamente na redução das taxas de imunização em distintos países (BEZERRA, 2022).

As vacinas representam uma eficaz medida profilática para o controle e erradicação de enfermidades. No âmbito brasileiro, as vacinas são fornecidas de maneira gratuita, de acordo com o calendário de imunização nacional estabelecido (DOMINGUES et al., 2019).

A informatização dos registros em saúde é essencial para viabilizar o uso dos documentos, a fim de evitar oportunidades de vacinação perdida. Ao identificar o indivíduo vacinado, é possível realizar a avaliação de risco quanto à ocorrência de surtos e epidemias de doenças consideradas imunopreveníveis. O aplicativo Conecte SUS, criado com o objetivo de permitir o acesso do usuário às suas informações, incluindo a caderneta de vacinação, exemplifica um benefício para a gestão de conhecimento. No entanto, é importante destacar que essa não é uma realidade em todos os serviços de saúde, onde o acesso ao sistema de consulta de vacinas realizadas pode não estar disponível (PARMEJANI et al., 2023).

Para a gestão de informações com a finalidade de gerar conhecimento, é indispensável empregar modelos que possuam a capacidade de representar um campo de conhecimento de maneira clara e, no máximo possível, livre de ambiguidades. Em face desta imperiosidade, a aplicação de Ontologias (a palavra tem origem nas palavras gregas "*ontos*,"que significa "sendo"ou "existente,"e "*logia*,"que significa "estudo"ou "ciência") emerge como um mecanismo viabilizador para a construção de uma formalização representativa, possibilitando a representação da realidade de maneira que seu conteúdo seja apto para automação em termos de inferência, manutenção e auditoria. Nesse contexto, estes artefatos são peças chaves, e alinhadas à tecnologia do *Resource Description Framework (RDF)* têm o propósito de aprimorar o processo de busca, introduzindo novas concepções à arquitetura da informação. Isso resulta na personalização e melhoria contínua do sistema para cada usuário (TEIXEIRA, 2021).

Com o propósito intrínseco de servir como vocabulários compartilhados, as ontologias são configuradas visando otimizar o suporte à integração de dados e informações existentes. O processo de elaboração de uma ontologia revela-se de natureza dinâmica e adaptativa, alinhada com a evolução do entendimento do respectivo domínio. Dessa maneira, requer constante aperfeiçoamento para se adequar às demandas do contexto de aplicação e às necessidades dos seus usuários (GUARNIER et al., 2020).

Outro aspecto reside na necessidade de congruência entre essas representações conceituais à estruturas de nível mais elevado, denominadas Ontologias de Fundamentação ou Ontologias de Topo. Neste contexto, merece destaque a UFO (*Unified Foundational Ontology*), um modelo ontológico amplamente reconhecida por sua qualidade, viabilizando o desenvolvimento de outras ontologias menos abstratas. A UFO proporciona um embasamento sólido capaz de

sustentar uma ontologia de referência de maneira eficiente e rigorosa (GUARNIER et al., 2020).

1.2 PERGUNTA DE PESQUISA

Nesta dissertação, empreende-se uma investigação acerca de uma proposta de modelagem de informações concernentes ao sistema de imunização no contexto brasileiro. A pesquisa aborda as seguintes indagações:

1. Como sintetizar o escopo referente às vacinas em relação à infraestrutura adotada no cenário brasileiro através de modelos ontológicos?

2. Qual é a relevância subjacente à adoção de uma ontologia fundamental e, mais especificamente, se a UFO (Unified Foundational Ontology) detém os recursos essenciais para a estruturação de um domínio no campo da saúde?

1.3 OBJETIVOS E METAS

O objetivo primordial desta pesquisa consiste em elaborar uma ontologia, conforme os padrões inerentes da Web Semântica, com a finalidade de conferir formalidade ao campo dos imunobiológicos, notadamente focalizando nas vacinas. Tal formalização será fundamentada no substrato do contexto vacinal brasileiro. A estrutura ontológica proposta será delineada com base na denominada Ontologia Superior UFO.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o escopo do objetivo geral, determinaram-se os seguintes objetivos específicos:

1. Fazer um mapeamento das terminologias empregadas em fontes bibliográficas como manuais, literatura, sites eletrônicos e o calendário vacinal através de informações acerca do histórico das vacinas no contexto brasileiro;

2. Realizar uma investigação bibliográfica abrangente relativa a ontologias existentes no campo das vacinas;

3. Efetuar a pesquisa e seleção das ferramentas indispensáveis para a concepção ontológica;

4. Construir um modelo conceitual para Vacinas fundamentado nos princípios da UFO;

5. Concretizar a materialização da ontologia mediante os padrões DL e OWL;
6. Avaliar a ontologia produzida por meio de entrevistas com especialistas e estudos de caso.

1.5 CENÁRIO MOTIVACIONAL - POSSÍVEIS BENEFICIADOS

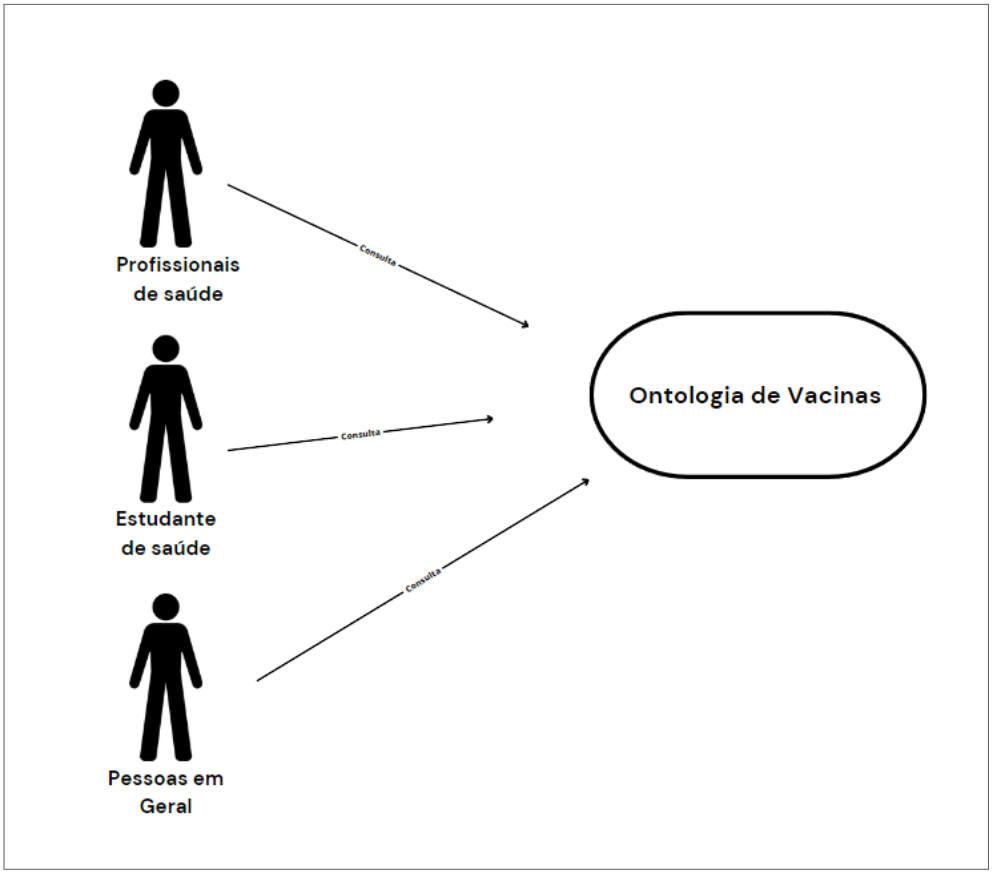
Imagine um profissional de saúde que atua em um ambiente hospitalar e se depara com o desafio de administrar vacinas de forma personalizada aos pacientes. Nesse contexto, ele deve manter um rigoroso controle sobre o armazenamento e manuseio das vacinas, além de se manter atualizado em relação às frequentes alterações nos calendários de vacinação. Também é essencial considerar as especificidades médicas de cada paciente, levando em conta seu histórico de saúde, alergias e idade.

Diante desse cenário complexo, propomos nesta pesquisa uma Ontologia de Vacinas, ou seja, um modelo conceitual que incorpora informações sobre todas as vacinas disponíveis, incluindo dados sobre restrições médicas e aderência aos calendários de vacinação.

Essa ontologia representa o conhecimento de maneira estruturada, proporcionando a capacidade de tomada de decisões mais embasadas no que diz respeito à administração de vacinas. Ela abrange informações cruciais relacionadas às vacinas, tais como faixa etária apropriada, tipo de antígeno presente, via de administração, quantidade de doses necessárias e vacinas que ainda precisam ser administradas para concluir o esquema de vacinação.

A Figura 1 representa, neste cenário motivacional, quem pode se apropriar e usar deste modelo ontológico. O modelo ontológico pode ser empregado por profissionais da área da saúde com o intuito de personalizar planos de vacinação, ajustando-os de acordo com as necessidades específicas de cada paciente. Adicionalmente, pesquisadores e educadores podem utilizar essa ontologia como base para o desenvolvimento de materiais educativos, enfatizando a importância da vacinação na prevenção de doenças. Estudantes interessados em compreender as complexidades da vacinação também podem se beneficiar dessa ontologia para fins de aprendizado ou pesquisa futura. Os profissionais da área de Tecnologia da Informação podem utilizar o modelo ontológico para o alinhamento e integração ontológica. Além disso, qualquer pessoa com interesse em consultar a ontologia em busca de informações confiáveis e relevantes sobre vacinação pode fazê-lo, garantindo assim o acesso a dados precisos e evitando a propagação de informações duvidosas.

Figura 1 – Caso de uso de consulta em uma ontologia de vacinas



Fonte: Própria (2023)

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação segue a seguinte estrutura de organização:

- O **Capítulo 2** do trabalho expõe o referencial teórico, abordando a aplicação do programa de vacinação no Brasil e destacando a relevância das vacinas no contexto da saúde pública. Nesse capítulo, são explorados conceitos relacionados à estrutura da web semântica, a utilização de lógicas descritivas, a modelagem de domínios por meio de ontologias, bem como a importância das ontologias de alto nível, como a UFO, na representação de conhecimento. Além disso, são discutidos os princípios e a aplicação da engenharia ontológica, que desempenha um papel fundamental no processo de criação de ontologias. Por fim, são apresentados trabalhos relacionados que são pertinentes à pesquisa realizada.

- O **Capítulo 3** detalha a metodologia utilizada na construção da ontologia IMUNO-ONTO, abrangendo os processos empregados durante sua criação.

- O **Capítulo 4** expõe o modelo conceitual construído, seguindo os padrões estabelecidos pela UFO.
- O **Capítulo 5** descreve a implementação do modelo ontológico e a estrutura dos conceitos na ferramenta Protegé.
- O **Capítulo 6** Dedica-se à avaliação da ontologia por meio de estudos de caso e com especialistas.
- Finalmente, no **Capítulo 7**, são apresentados os resultados obtidos, as contribuições da pesquisa e as direções para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, abordaremos o embasamento teórico desta pesquisa, focando em informações cruciais sobre vacinas, a web semântica e os padrões OWL e Lógica de Descrição. Por fim, realizaremos uma concisa comparação com estudos existentes na literatura.

2.1 VACINA

A Vacinação é uma forma de profilaxia, com o intuito de estimular o desenvolvimento de imunidade no organismo no qual é aplicado. Desta forma, o organismo produz uma resposta do sistema imunológico contra os agentes infecciosos, os quais podem ser de origem viral ou bacteriana. Contudo, é importante ressaltar que além de se vacinar, também é essencial disponibilizar informações acerca das vacinas e qual ou quais doenças elas têm o objetivo de prevenir (DOMINGUES et al., 2019).

O Programa Nacional de Imunizações (PNI) foi instituído em 1973, anteriormente à formação do Sistema Único de Saúde (SUS), que ocorreu em 1988. O PNI desempenha um papel determinante no controle das enfermidades suscetíveis à imunização no contexto brasileiro. O PNI tem desempenhado um papel crucial no aprimoramento da saúde da população do Brasil, englobando a erradicação de afecções como varíola e poliomielite, bem como a redução da prevalência de patologias como difteria e coqueluche, ademais da supressão da disseminação do vírus do sarampo (no ano de 2016) e da rubéola (no ano de 2015). Além disso, evidencia-se a mitigação dos índices de mortalidade relacionados a doenças evitáveis por meio de imunização, particularmente nos primeiros anos de vida (DOMINGUES et al., 2019).

Vale ressaltar que o calendário vacinal é definido com todas as vacinas, prazos, idade entre outras informações, porém ele tem atualizações, sendo esses meios de informes anuais, que publicam informações relacionado a população a ser destinada, ou o acréscimo de novos produtos (vacinas) que irão complementar o calendário vacinal considerando a necessidade prévia dos pais como, por exemplo, a vacina da COVID-19 (PERES et al., 2021).

Uma vacina que se caracteriza por possuir abrangência substancial é a destinada à prevenção da febre-amarela, enquanto outras são direcionadas a segmentos populacionais específicos, a exemplo das vacinas dTpa e varicela. A inclusão das vacinas no Programa Nacional de Imunizações (PNI) demanda, ao longo do tempo, a condução do perfil epidemiológico

concomitantemente à avaliação do risco sanitário (PERES et al., 2021).

As vacinações realizadas por meio de campanhas de vacinação estruturam-se com base na determinação das necessidades imperativas, estabelecendo os segmentos populacionais a serem abrangidos. Um exemplo claro disso é a administração da vacina contra influenza, dirigida a grupos de maior vulnerabilidade de acordo com o calendário vacinal. Não obstante, em contextos privados distintos, outras parcelas populacionais podem ser contempladas.

O calendário nacional de vacinação, conforme mostrado na Figura 2, refere-se ao calendário de vacinas destinado às crianças. Esse calendário contém informações sobre as vacinas que compõem sua programação, especificando as doenças contra as quais cada vacina oferece proteção. Além disso, são apresentadas informações sobre a composição das vacinas, referindo-se aos antígenos presentes, que podem ser do tipo viral ou bacteriano. As vacinas são classificadas quanto à sua natureza, podendo ser atenuadas, inativadas, recombinantes ou conjugadas.

Figura 2 – Calendário Vacinal - Crianças

CALENDÁRIO NACIONAL DE VACINAÇÃO

Vacinas para a criança

Vacina	Proteção Contra	Composição	Número de Doses		Idade Recomendada	Intervalo entre as Doses	
			Esquema Básico	Reforço		Recomendado	Mínimo
BCG (1)	Formas graves de tuberculose, meningea e miliar	Bactéria viva atenuada	Dose única	-	Ao nascer	-	-
Hepatite B recombinante (2)	Hepatite B	Antígeno recombinante de superfície do vírus purificado	Dose ao nascer	-	Ao nascer	-	-
Poliomielite 1,2,3 (VIP - inativada)	Poliomielite	Vírus inativado tipos 1,2, e 3	3 doses	2 reforços com a vacina VOP	1ª dose: 2 meses 2ª dose: 4 meses 3ª dose: 6 meses	60 dias	30 dias
Poliomielite 1 e 3 (VOP - atenuada)	Poliomielite	Vírus vivo atenuado tipos 1 e 3	-	2 reforços	1° reforço:15 meses 2° reforço: 4 anos de idade	-	1º reforço: 6 meses após 3ª dose da VIP 2º reforço: 6 meses após 1º reforço
Rotavírus humano G1P1 (VRH) (3)	Diarreia por Rotavírus	Vírus vivo atenuado	2 doses	-	1ª dose: 2 meses 2ª dose: 4 meses	60 dias	30 dias
DTP+Hib+HB (Penta)	Difteria, Tétano, Coqueluche, *Haemophilus influenzae* B e Hepatite B	Toxoides diftérico e tetânico purificados e bactéria da coqueluche inativada. Oligossacarídeos conjugados do HiB, antígeno de superfície de HB	3 doses	2 reforços com a vacina DTP	1ª dose: 2 meses 2ª dose: 4 meses 3ª dose: 6 meses	60 dias	30 dias
Pneumocócica 10-valente (PCV 10) (4)	Pneumonias, Meningites, Otites, Sinusites pelos sorotipos que compõem a vacina	Polissacarídeo capsular de 10 sorotipos pneumococos	2 doses	Reforço	1ª dose: 2 meses 2ª dose: 4 meses Reforço: 12meses	60 dias	30 dias da 1ª para 2ª dose e de 60 dias da 2ª dose para o reforço
Meningocócica C (Conjugada) (4)	Meningite meningocócica tipo C	Polissacarídeos capsulares purificados da *Neisseria meningitidis* do sorogrupo C	2 doses	Reforço	1ª dose:3 meses 2ª dose: 5 meses Reforço: 12 meses	60 dias	30 dias da 1ª para 2ª dose e de 60 dias da 2ª dose para o 1º reforço
Febre Amarela (Atenuada) (5)	Febre Amarela	Vírus vivo atenuado	1 dose	Reforço	Dose: 9 meses Reforço: 4 anos de idade	-	30 dias
Sarampo, Caxumba e Rubéola (SCR) (6)	Sarampo, Caxumba e Rubéola	Vírus vivos atenuados	2 doses (primeira dose com SCR e segunda dose com SCRV)	-	12 meses	-	30 dias
Sarampo, Caxumba, Rubéola e Varicela (SCRV) (4) (7)	Sarampo, Caxumba Rubéola e Varicela	Vírus vivos atenuados	2 doses (segunda dose da SCR e primeira de varicela)	-	15 meses	-	30 dias entre a dose de tríplice viral e a dose de tetraviral
Hepatite A (HA) (4)	Hepatite A	Antígeno do vírus da hepatite A, inativada	1 dose	-	15 meses	-	-
Difteria, Tétano e Pertussis (DTP)	Difteria Tétano e Coqueluche	Toxoides diftérico e tetânico purificados e bactéria da coqueluche, inativada	Considerar doses anteriores com penta e DTP	2 reforços	1º reforço: 15 meses 2º reforço: 4 anos de idade	1º ref. 9 meses após 3ª dose 2º ref. 3 anos após 1º reforço	1º reforço: 6 meses após 3ª dose 2º reforço: 6 meses após 1º reforço
Difteria e Tétano (dT)	Difteria e Tétano	Toxoides diftérico e tetânico purificados, inativada	3 doses (Considerar doses anteriores com penta e DTP)	A cada 10 anos. Em caso de ferimentos graves a cada 5 anos	A partir dos 7 anos de idade	60 dias	30 dias
Papilomavírus humano (HPV)	Papilomavírus Humano 6, 11, 16 e 18 (recombinante)	Partícula da cápsula do vírus antígeno de superfície	2 doses	-	9 a 14 anos para **Meninas e Meninos**	2ª dose: 6 meses após 1ª dose	-

Fonte: Ministério da Saúde (2022)

As vacinas atenuadas contêm agentes infecciosos vivos, porém enfraquecidos, que não têm a capacidade de causar a doença. As vacinas inativadas utilizam agentes infecciosos

mortos ou partículas deles. Já as vacinas recombinantes são formuladas com antígenos de proteínas. Os antígenos são substâncias estranhas ao organismo que desencadeiam a produção de anticorpos. O calendário também fornece informações relacionadas ao número de doses, a idade recomendada para a administração da vacina e os intervalos entre as doses.

No Brasil, existem calendários vacinais destinados a públicos específicos, incluindo crianças, adolescentes, gestantes, adultos e idosos. Cada calendário inclui informações relativas às vacinas específicas do respectivo grupo. No calendário destinado a crianças, por exemplo, são fornecidas informações sobre o prazo de vacinação correspondente a cada dose, como:

1. Devido à situação epidemiológica do país é recomendável que a vacina BCG seja administrada na maternidade. Caso não tenha sido administrada na maternidade aplicá-la na primeira visita ao serviço de saúde. Crianças que não apresentarem cicatriz vacinal após receberem a dose da vacina BCG não precisam ser revacinadas.

2. Administrar 1 (uma) dose da vacina Pneumocócica 10V (conjugada), da vacina Meningocócica C (conjugada), da vacina hepatite A e da vacina tetra viral em crianças até 4 anos (4 anos 11 meses e 29 dias) de idade, que tenham perdido a oportunidade de se vacinar.

3. A vacina tetra viral corresponde à segunda dose da tríplice viral e à primeira dose da vacina varicela. Na sua indisponibilidade, pode ser substituída pelas vacinas tríplice viral e vacina varicela (monovalente).

No contexto da pandemia de COVID-19, ficou nitidamente evidenciada a relevância desempenhada pelo Estado, suas políticas públicas e medidas econômicas, com destaque especial ao protagonismo das vacinas no âmbito do controle epidêmico. Ao longo de períodos anteriores, o Brasil conquistou reconhecimento por sua eficácia na contenção e erradicação de doenças passíveis de imunização, a exemplo da poliomielite e da febre-amarela. Esse êxito alçou o país à posição de exportador de vacinas, abastecendo mais de 70 nações, podendo destacar o continente africano (PERES et al., 2021).

Por outro lado, para que tudo isso possa se perpetuar, observa-se que o acesso à informação é essencial e é de suma importância que a população tenha acesso às informações verídicas com respaldo científico. Os profissionais da área da saúde também têm um papel importante divulgando e compartilhando informações verdadeiras, deste modo contribuindo

de forma ética com a sociedadeAo abordar a socialização de informações e sua completa integração no universo digital, torna-se necessário o uso de modelos semanticamente anotados, isentos de ambiguidades, que permitam inferências para embasar processos decisórios. Nesse contexto, a utilização de vocabulários controlados é essencial para categorizar e descrever conceitos de forma padronizada, assim como o emprego de linguagens de marcação como XML ou RDF.

Essa formalização se faz necessária, dado que no âmbito da saúde existem múltiplas terminologias clínicas, o que dificulta o entendimento pelo cidadão comum, bem como dificulta a interoperabilidade dos sistemas, causando uma sobreposição do escopo. Para atingir os objetivos supracitados, nesta pesquisa, optou-se em utilizar os padrões inerentes da Web Semântica para organização do dominio de sistemas imunobiológicos na contexto das vacinas, dada sua ampla disseminação e aceitação.

2.1.1 WEB SEMÂNTICA

A Web é universalmente reconhecida como um espaço que abriga fontes excepcionalmente ricas de informação, proporcionando um ambiente propício à interação e ao intercâmbio de dados. É evidente o crescimento incessante dos recursos informativos inerentes à esfera web. Nesse contexto, as abordagens tradicionalmente consagradas para representação e recuperação de informações, embora tenham sido consideradas clássicas, devem ser reexaminadas à luz de perspectivas alternativas. Isso se justifica pela premissa de que a representação constitui um fator fundamental, desempenhando um papel crucial na garantia da qualidade do processo de recuperação de informações (RAMALHO; VIDOTTI; FUJITA, 2007).

A Web ostenta como desígnio primordial a facilitação da acessibilidade aos conteúdos de natureza informacional, de modo a viabilizar a interpretação e visualização por parte dos utilizadores. No final da década de 1990, deram início à formalização de pesquisas direcionadas à instauração de uma nova fase da web, centrada na capacidade de incorporar ligações semânticas aos recursos informativos. Essa evolução visa permitir que sistemas computacionais interpretem tais conexões de maneira automatizada (RAMALHO; VIDOTTI; FUJITA, 2007). Esta configuração da "nova" Web ficou conhecido como Web Semântica.

Nos últimos anos, as tecnologias inerentes à Web Semântica têm exibido uma notável relevância, de maneira paralela às potencialidades intrínsecas à prática de dados interconectados. É observável que, em alguns países, os dados governamentais são acessíveis em formatos

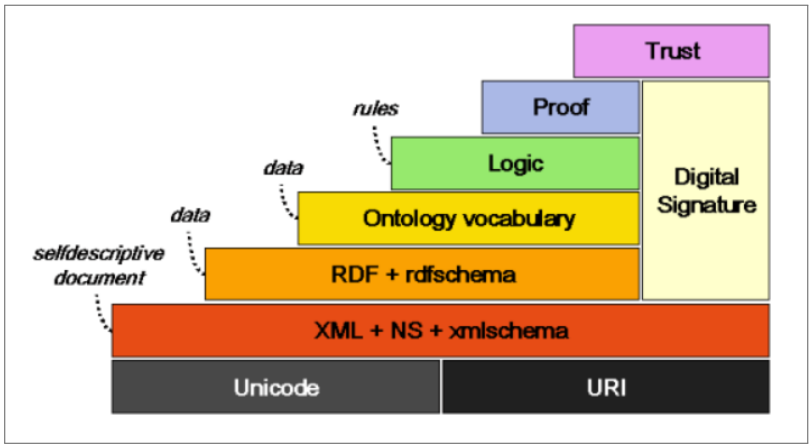
abertos e semanticamente estruturados, o que desencadeia efeitos de repercussão social substanciais. Consequentemente, emerge a necessidade de desenvolvimento de aplicações capazes de guiar os cidadãos a esses dados, a fim de alavancar variados propósitos (SEGUNDO, 2018).

> A Web Semântica refere-se a um conjunto de tecnologias que visam unir semantica-mente objetos via web, ou seja, que permitam agregar informações contextualizadas sobre o objeto, produzindo arquivos inteligíveis aagentes computacionais, possibilitando buscas automatizadas mais efetivas e resultados mais precisos(SILVA; MARTINS; SIQUEIRA, 2019, p. 100)

Os ambientes e plataformas digitais constituem uma presença distinta na realidade contemporânea dos indivíduos. Nesse contexto, é notável a evolução da World Wide Web (Web), que transcendeu de ser primordialmente uma plataforma destinada a transações comerciais e emissões de notas fiscais para assumir um papel de proeminência na interação com a sociedade. A Web Semântica, neste contexto, visava dotar o conteúdo preexistente com significado, desenvolvendo tecnologias que viabilizam uma maior convergência entre os agentes computacionais e as pessoas no âmbito das comunicações (VIDOTTI et al., 2019).

O consórcio W3C (*World Wide Web consortium*) é o responsável pela normatização do modelo arquitetônico da Web Semântica, utilizando as tecnologias inerentes a essa esfera para fornecer uma amplitude maior do que a simples soma de seus componentes, ou seja, ampliando as possibilidades. A Web Semântica é delineada segundo princípios organizados em estratos hierárquicos, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Arquitetura da Web Semântica



Fonte: KOIVUNEN; MILLER (2001)

A camada UNICODE encarrega-se da codificação empregada, enquanto a camada URI (*Uniform Resource Identifier*) destina-se à identificação dos recursos presentes na Web, ga-

rantindo, desse modo, a implementação de um conjunto de atributos internacionais, os quais conferem a capacidade de identificar entidades na esfera da Web Semântica.

A camada XML (*eXtensible Markup Language*) consiste em uma linguagem de marcação que, por sua vez, possibilita o acesso aos dados contidos no interior do respectivo documento por parte das outras camadas. Desse modo, ocorre a integração entre as definições da Web Semântica e outros padrões baseados em XML.

A camada RDF (*Resource Description Frmaework*) e RDF Schema propicia a realização de enunciados que se referem a objetos por meio de URI's, assegurando a semântica associada aos arquivos XML. Esse estrato define vocabulários passíveis de serem referenciados por URI's, com o propósito de disponibilizar recursos associados ao seu tipo e vinculações.

A camada de ontologia viabiliza a formulação de modelos que respaldam a evolução dos vocabulários e a interpretação dos dados, delineando, assim, as relações intercorrentes entre os conceitos. A camada de assinatura digital é empregada para detetar alterações nos documentos, enquanto a camada de Lógica opera nas regras descritas sobre a estrutura ontológica.

Nas camadas de validação e prova, ocorre a verificação da consistência das regras lógicas, e somente após essa verificação de consistência e validação é que a aprovação das informações é determinada.

2.2 AS LÓGICAS DESCRITIVAS

A Lógica Descritiva, também conhecida como DL (*Description Logics*), constitui um conjunto de formalismos fundamentado na lógica de primeira ordem, empregado para a representação do conhecimento, enriquecido com capacidades de raciocínio. Essa lógica é aplicável na descrição do domínio em termos de conceitos, propriedades, relações e indivíduos (GOMES; LONCAROVICH, 2011).

> Elas são consideradas o formalismo mais importante para representação de conhecimento, unificando e fornecendo uma base lógica para os sistemas tradicionais nesta área (frames, redes semânticas, representações orientadas a objeto, modelos semânticos de dados e sistemas de tipos) (GOMES; LONCAROVICH, 2011, p. 110).

A DL é dotada de uma base de conhecimento que tem a capacidade de representar um universo delimitado. Essa base de conhecimento é passível de ser categorizada em termos intencionais e extensionais. O conhecimento intencional compreende expressões que compõem um léxico genérico, estabelecendo definições conceituais que conferem uma compreensão abran-

gente sobre um domínio problemático. O conjunto agregado de conceitos genéricos é referido como TBox. Por outro lado, o conhecimento extensional emprega expressões para descrever as características de entidades individuais e as instâncias dos conceitos. Através dessa abordagem, que define um problema específico, é pertinente utilizar o termo ABox para referir-se ao contexto em DL (HINZ, 2006).

A DL disponibiliza construtos para definir conceitos, sendo que esses construtos materializam as relações que vinculam os indivíduos entre si (BAADER et al., 2007). Sendo C e D conceitos de um domínio, a lista basilar de construtos da Lógica Descritiva pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1 – Construtos da Lógica Descritiva

Exemplo	Descrição
$\mathcal{A}$	Conceito Atômico
$\mathcal{C} \sqcap \mathcal{D}$	Interseção
$\mathcal{C} \sqcup \mathcal{D}$	União
$\neg\, \mathcal{C}$	Complemento
$\top$	Conceito Top (que representa o conceito macroprincipal)
$\bot$	Conceito Bottom (que representa o conceito vazio, ou inconsistência)
$\exists\, \mathcal{R}.\mathcal{C}$	Relação Existencial
$\forall\, \mathcal{R}.\mathcal{C}$	Relação Universal

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

De fato, há uma gama de lógicas descritivas disponíveis na literatura, cada qual apresenta uma gramática específica. Neste presente estudo, focaremos na linguagem $\mathcal{SROIQ}$, a qual é definida em termo de três conjuntos finitos de símbolos disjuntos entre si: o conjunto das assinaturas dos conceitos (N_C), o conjunto das assinaturas das relações (N_R) e o conjunto das assinaturas dos indivíduos (N_I). A partir destas assinaturas, a gramática abaixo define a estrutura das expressões em $\mathcal{SROIQ}$:

$$\begin{aligned} &\mathrm{C} ::= \mathrm{N}_C \mid \mathrm{C} \sqcap \mathrm{C} \mid \mathrm{C} \sqcup \mathrm{C} \mid \neg \mathrm{C} \mid \top \mid \bot \mid \exists \mathrm{R}.\mathrm{C} \mid \forall \mathrm{R}.\mathrm{C} \mid \geq n\ \mathrm{R}.\mathrm{C} \mid \leq n\ \mathrm{R}.\mathrm{C} \mid \exists \mathrm{R}.\mathit{self} \mid \mathrm{N}_I \\ &\mathrm{R} ::= U \mid \mathrm{N}_R \mid \mathrm{N}_R^- \end{aligned} \tag{2.1}$$

Enquanto a primeira regra na gramática define os construtores de conceitos, a segunda define os construtores das relações. Os construtores de conceitos podem ser classificados

em construtores booleanos, restrições de relações, e enumerações nominais. Também, sob a ótica da $\mathcal{SROIQ}$, uma base de conhecimento DL ($\mathcal{KB}$) é estruturada em três componentes, $\mathcal{KB} := \langle \mathcal{A}, \mathcal{T}, \mathcal{R} \rangle$, onde:

- $\mathcal{A}$ (ABox) compreende os axiomas assercionais, nos quais encontramos:
  - Instanciação de Conceito, C(N_I) (exemplo, $Vacina(bcg)$);
  - Instanciação de Relação, R($N_I \times N_I$) (exemplo, $previne(bcg, tuberculose)$;
- $\mathcal{T}$ (TBox) compreende os axiomas terminológicos, no qual, encontramos:
  - Inclusão de conceitos, C $\sqsubseteq$ D;
  - Equivalência de conceitos, C $\equiv$ D (ou seja, C $\sqsubseteq$ D e D $\sqsubseteq$ C).

Fragmentos sofisticados como $\mathcal{SROIQ}$ possuem ainda um componente relacional ($\mathcal{R}$), chamado de RBox, que contempla relações disjuntas e relações inversas.

A semântica das Lógicas Descritivas é dada em termos de intepretações em lógica de primeira ordem $\mathcal{I}$ (BAADER et al., 2007), ou seja, uma tupla $\langle \Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}} \rangle$, na qual $\Delta^{\mathcal{I}}$ representa o domínio de $\mathcal{I}$, e $\cdot^{\mathcal{I}}$ é a função que mapeia conceitos em subconceitos de $\Delta^{\mathcal{I}}$, relações para subconceitos de $\Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$ e instâncias para elementos de $\Delta^{\mathcal{I}}$. Quanto as tarefas de raciocínio, a implicação lógica é aquela em que, dada uma base de conhecimento $\mathcal{KB}$, e dois conceitos C e D, tem-se que D subsume C, se para todos os modelos $\mathcal{I}$ de $\mathcal{KB}$, $C^{\mathcal{I}} \subseteq D^{\mathcal{I}}$ (ou seja, as interpretações do conceito C sempre estão contidas nas interpretações do conceito D), denotado por $\mathcal{KB} \models C \sqsubseteq D$.

2.2.1 Ontologia

A literatura oferece uma variedade de definições para o termo Ontologia (OLIVEIRA, 2006). Uma definição amplamente adotada é "uma especificação formal e explícita de uma conceituação compartilhada" (STUDER; BENJAMINS; FENSEL, 1998). A investigação ontológica pode ser segmentada em três domínios de pesquisa distintos. O primeiro âmbito é a Filosofia, que se dedica à análise das entidades que subsistem na realidade. No campo da Ciência da Computação, tais entidades são consideradas como componentes de software empregados em sistemas de modelagem e em áreas de inteligência artificial. Já nas Ciências da Informação, as ontologias são conceituadas como estruturas destinadas à representação do conhecimento,

proporcionando assistência na organização das entidades, as quais são agrupadas em classes, relações e categorias (TEIXEIRA et al., 2021).

As ontologias têm a capacidade de ser aplicadas em variados domínios dentro da ciência da computação, como delineado na Tabela 2. A utilização de ontologias concretiza vantagens como a facilitação da comunicação entre indivíduos no contexto de um conhecimento específico, promovendo a convergência em torno de terminologia técnica dentro de uma comunidade profissional. Por meio da formalização, é possível erradicar contradições e inconsistências na representação do conhecimento, estabelecendo uma semântica não ambígua que permite a avaliação, validação e verificação de relações específicas. As ontologias, por sua vez, incorporam um léxico de consenso que viabiliza a representação do conhecimento, apresentando, assim, um potencial substancial de reutilização (MORAIS; AMBRÓSIO, 2007).

Tabela 2 – Áreas de aplicação de ontologias

Área	Aplicação em Projeto
Recuperação de informações na Internet	Recuperação de informação na Internet, assim como catálogos de produtos on-line e estruturas de busca em um grande banco de dados de ontologias..
Processamento de Linguagem Natural	Processamento de linguagem natural, baseado em textos especializados e dicionários médicos.
Gestão do Conhecimento	Representação do conhecimento.
Educação	Projetos voltados área de educação em ambiente de Internet.

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

As ontologias podem exibir distintas estruturas, apesar de compartilharem características que são comuns à maioria delas (MATTOS, 2007). Tais ontologias podem ser categorizadas em cinco classes distintas, conforme exemplificado na Tabela 3.

Contudo, é notável enfatizar a ausência de padronização durante o procedimento construtivo, pois, mesmo ao empregar ontologias de domínio, é possível que o resultado seja a existência de ontologias que careçam de interoperabilidade mútua, ocasionando a geração de modelos ontológicos que não primam pelo reuso. As ontologias de domínio, quando formalizadas, assumem a qualidade de artefatos de representação do conhecimento, o que proporciona a possibilidade de interoperabilidade semântica. Isso viabiliza uma representação destituída de ambiguidade no tocante aos dados e à capacidade de raciocínio e inferências retratadas (FARINELLI; SOUZA, 2021).

A utilização de ontologias de nível superior como fundamentação para a elaboração de

Tabela 3 – Tipos de ontologias

Categoria	Descrição	Exemplos
Ontologias Genéricas	Com conceitos mais abrangentes como elementos da natureza, espaço, tempo entre outros. Independente de um problema específico, desta forma construindo teorias básicas sobre o mundo.	Ontologias a plicadas no sentido filosófico de categorização e linguística.
Ontologias de Domínio	Voltada a determinados domínios como medicina e computação. Considerado um tipo de ontologia mais comum, construída de forma que possa modelar um"micro-mundo".	Modelagem de empreendimento e Modelagem de processos de software
Ontologias de Tarefas	Especificar tarefas, com capacidade de contribuir para resolução de problemas, independentemente do domínio como, por exemplo, diagnóstico.	Termos referente a Hospital, no caso Setor e Corpo-clínico
Ontologias de Aplicação	Possui uma dependência tanto de um domínio particular quanto de uma tarefa específica, ao descreverem os conceitos.	Aplicações para o acesso a informação jurídica.
Ontologias de Representação	Onde as conceituações que fundamentam os formalismos de representação de conhecimento são explicados de forma que as tornam claras	Ontologia de *frames*

Fonte: MORAIS; AMBRÓSIO (2007)

ontologias de domínio tem o potencial de contribuir para a consecução da interoperabilidade, ao fornecer uma compreensão semântica subjacente. Desta forma, é possível afirmar que as ontologias de alto nível são caracterizadas como ontologias de natureza neutra em relação ao domínio, uma vez que descrevem conceitos de caráter comum e geral, aplicáveis a todos os domínios (FARINELLI; SOUZA, 2021). Destacamos, nesta categoria, a ontologia UFO.

2.3 UFO (UNIFIED FOUNDATIONAL ONTOLOGY)

As Ontologias de Fundamentação (*Foundational Ontologies*) têm suas raízes fundamentadas em princípios filosóficos, ou seja, são concebidas com o propósito de aprimorar a qualidade linguística na construção de modelos conceituais, por meio da adoção de categorias cuidadosamente estruturadas de um ponto de vista filosófico (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008).

O projeto de concepção da *Unified Foundational Ontology* (UFO) teve origem em 2005, resultando na consolidação da metodologia de avaliação de ontologias. A UFO também se insere no grupo das ontologias de alto nível, incorporando elementos da OntoClean, uma ontologia de universais subjacentes, assim como da *General Formal Ontology* (GFO). Tais incorporações tiveram o propósito de abordar desafios relativos à modelagem conceitual (MENDONCA, 2015).

Diversas meta-propriedades são empregadas para estabelecer distinções entre as categorias de entidades na UFO, tais como Identidade, Rigidez e Dependência. No âmbito da Identidade, certos conceitos compartilham características que conferem reconhecimento e possibilitam que sejam considerados mais ou menos equivalentes. Alguns tipos têm como características fornecer o princípio de identidade para suas instâncias, como, por exemplo, Pessoa e Empresa (FILHO, 2019a).

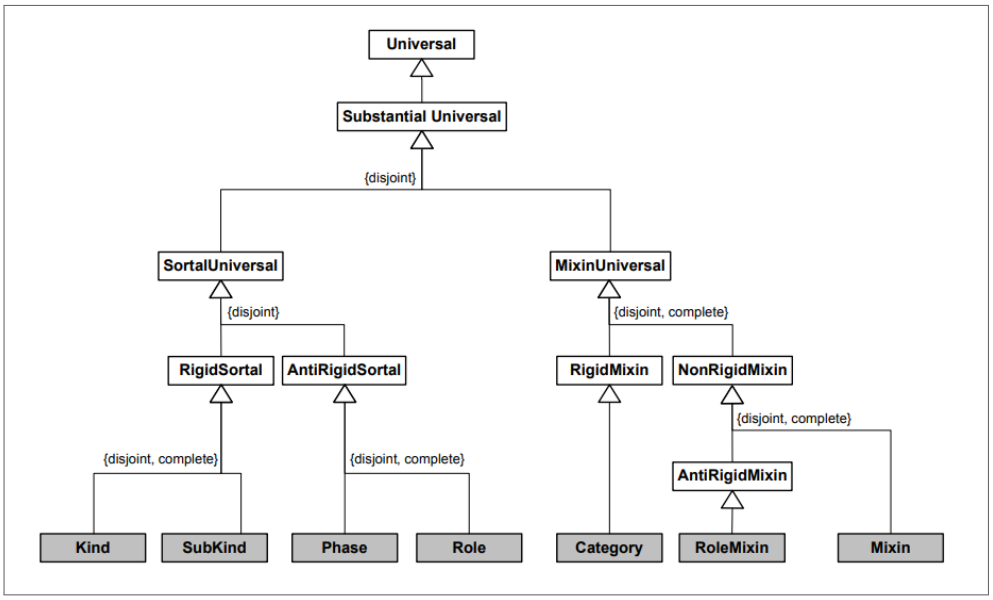
No que tange à rigidez, os conceitos podem ser classificados como rígidos, anti-rígidos ou semi-rígidos. Um conceito rígido delimita-se a abordar unicamente esse conceito, por exemplo, se um indivíduo precisar instanciar um elemento em todos os cenários em que esse indivíduo exista, como Pessoa e País. No conceito anti-rígido, os particulares são definidos de forma a serem aplicáveis, mas também podem deixar de ser, sem que sua existência seja afetada, como, por exemplo, Estudante e Cônjuge. Já o conceito semi-rígido manifesta-se por ser aplicável a alguns individuais em determinados momentos e a outros em outros momentos. Exemplos como joias e carros de luxo podem ser considerados artigos de luxo; enquanto joias, ao longo dos anos, não perdem valor, carros de luxo podem perdê-los. (FILHO, 2019a).

Por fim, a dependência surge quando duas universais, uma das quais é dependente da outra, estabelecem uma relação. Em outras palavras, os individuais que exemplificam uma das universais necessitam possuir uma conexão com um indivíduo específico da outra universal (FILHO, 2019a).

> UFO fornece uma teoria de distinções ontológicas que aborda uma tipologia de universais como os tipos sortais rígidos (kind, subkind), sortais anti-rígidos (phase, role),e os tipos dispersivos não sortais (ou seja, aqueles que

definem conceitos mais genéricos, tais como mixin, category,rolemixin) entre outros.(RODRIGUES, 2019, p. 57).

Figura 4 – Tipologia de universais substanciais da UFO



Fonte: GUIZZARDI (2015)

Como visto na Figura 4, a UFO apresenta conceitos (classes) estereotipados, tais como: *Kind, Subkind, Phase, Role, Collective, Category,* entre outros. Estes conceitos são acompanhados por restrições com o objetivo de padronizar a construção de modelos ontológicos que sejam coerentes do ponto de vista ontológico (SUCHÁNEK, 2022). A descrição de cada um dos estereótipos pode ser visualizada na Tabela 4.

A UFO é organizada em segmentos distintos, compreendendo principalmente: UFO-A, UFO-B e UFO-C. A UFO-A constitui-se como uma ontologia voltada a objetos (Endurants), representando entidades cuja existência no espaço é contínua, independentemente do tempo observado. A UFO-B consiste em ontologias de eventos (Perdurants), sendo seus elementos caracterizados por ocorrências delimitadas em intervalos temporais específicos. Por fim, a UFO-C é uma ontologia focalizada em entidades sociais, fundamentada nas ontologias UFO-A e UFO-B (FILHO, 2019b).

A UFO-A é caracterizada como uma ontologia de objetos e abrange duas categorias essenciais: a de Indivíduo (Particular), que engloba entidades que existem no âmbito da realidade, e a de Universal (Tipo), que compreende padrões dotados de características passíveis de serem instanciadas por diversos indivíduos em quantidades variadas (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008).

Tabela 4 – Estereótipos dos conceitos da UFO

Estereótipo	Categoria	Descrição
kind	RigidSortal	Cada objeto deve ser uma instância (direta ou indiretamente) de um kind.
subkind	RigidSortal	Deve existir exatamente um supertipo kind, direta ou indiretamente.
phase	AntiRigidSortal	Definido como parte de uma partição. Deve existir exatamente um supertipo kind, direta ou indiretamente.
role	AntiRigidSortal	Cardinalidade do lado oposto ao tipo role deve ser $>= 1$. Deve existir exatamente um supertipo kind, direta ou indiretamente.
mixin	SemiRigidNonSortal	Podendo ser tipo rígido para alguns indivíduos e anti-rígido para outros.
category	RigidNonSortal	Categoria abstrata
rolemixin	AntiRigidNonSortal	Pode ser instanciado em distintos roles.
mode	Rigid	Propriedade intrínseca que não possui valor estruturado.

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

A UFO-B efetua uma diferenciação fundamental entre Eventos e Objetos, distinção essa que é mediada pelas suas relações com o tempo. No caso dos Objetos, estes persistem durante todo o intervalo temporal em que estão presentes, mesmo que em contextos distintos, um mesmo objeto possa exibir diferentes propriedades. Por outro lado, os Eventos são concebidos como indivíduos compostos por partes temporais, como, exemplificativamente, uma conversa. Enquanto um evento se manifesta, apenas algumas de suas partes temporais estão presentes. Consequentemente, as partes temporais dos eventos não mantêm uma identidade prolongada (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008).

Por fim, a UFO-C ontologia de entidades sociais, fundamentada nas UFO-A e UFO-B. Torna-se imperativo distinguir entre Agentes e Substâncias Inanimadas, podendo esses agentes e substâncias inanimadas assumirem naturezas físicas ou sociais.

2.4 ENGENHARIA ONTOLÓGICA

A engenharia ontológica é o domínio responsável pela investigação dos elementos interligados durante o processo de elaboração de ontologias, bem como os sistemas que fazem uso

destas ontologias ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. A obtenção de uma compreensão aprofundada da engenharia ontológica requer uma apreensão concreta do conceito subjacente de ontologia.

Além do seu papel no processo de concepção de ontologias, a engenharia ontológica desempenha um papel crucial na subsequente manutenção destas ontologias. Este processo, intrinsecamente complexo, pode ser segmentado em três categorias discretas: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. A fase de pré-desenvolvimento é responsável por definir tanto o público alvo como os objetivos inerentes à ontologia. Na etapa de desenvolvimento, ocorre a execução da materialização, incluindo a estruturação dos conceitos, relações, instâncias e axiomas. Por último, no estágio de pós-desenvolvimento, residem as atividades de avaliação, envolvendo a condução de testes com o intuito de analisar a coerência lógica e assegurar a aderência da ontologia a todos os requisitos delineados para o domínio específico (ARAúJO; LIMA, 2019).

De acordo com a literatura, os criadores de ontologias empregam metodologias e abordagens para facilitar o procedimento de construçãos (ARAÚJO, 2021). Notavelmente, a abordagem Methontology se destaca nesse contexto. Conforme os seus proponentes, essa abordagem permite a construção de uma ontologia através do processo de reengenharia de outra ontologia, sendo viável para aplicação em uma variedade de domínios (FERNÁNDEZ-LÓPEZ; GÓMEZ-PÉREZ; JURISTO, 1997). A abordagem Methontology engloba as seguintes fases sequenciais: especificação, conceitualização, aquisição de conhecimento, integração, implementação, avaliação, documentação e manutenção, conforme destacado na Tabela 5.

Segundo Mendonça et al. (2020), após um levantamento na literatura mostram-se a existência de inúmeras metodologias, destacando que uma etapa presente em todas é a do uso de editores de ontologias para organizar e formalizar o conhecimento. Podem ser destacados dois editores neste contexto, o Protégé e o OntoUML Lightweight Editor (OLED). O Protégé é um editor de código aberto que possui um conjunto de ferramentas caapz de construir modelos ontológicos de domínio e aplicativos que sejam baseados em conhecimentos ontológicos. Já o OLED é um editor usado para modelagem conceitual de ontologias usando a linguagem OntoUML, fundamentada na UFO.

Conforme indicado por algumas pesquisas, o editor Protégé foi reconhecido como o mais adequado e eficaz para principiantes, notabilizando-se como a escolha preeminente. A característica de ser um software de código aberto, gratuito e apresentar tutoriais instrutivos que facilitam a sua utilização contribuem para consolidar sua preferência, resultando na recomendação

Tabela 5 – Etapas da Methontology

Etapa	Descrição
Aquisição de conhecimento	Nesta etapa é coletado o maior número de informações necessárias para a modelagem da ontologia, com finalidade de identificar os conceitos, relacionamento, para definir o primeiro glossário a ser usado.
Especificação	Etapa em que as seguintes informações são definidas no objetivo: usuários, cenários de uso e finalidade. Além de definir o escopo, incluído os ternos a serem representados e o nível de formalismo.
Conceituação	São usadas as informações coletadas da etapa aquisição de conhecimento, para organizar e criar o modelo conceitual da ontologia. Identificando os conceitos, instâncias. Assim podendo ser visualizado os conceitos e como eles se relacionam entre si.
Formalização	Nesta fase ocorre a mudança do modelo conceitual para um de ordem formal, ou seja, será possível ser interpretado por máquinas,sendo utilizado os editores de ontologia, na formalização ocorrerá a hierarquia de conceitos, mapeamento de relações, propriedade dos conceitos, restrições dos conceitos.
Integração	Com objetivo de evitar começar a construir uma ontologia do zero, nesta etapa é decidido se será usado a reutilização de uma ontologia já existente.
Implementação	Etapa que ontologia é codificada em uma linguagem formal.
Avaliação	Avaliação, validação ou verificação são termos usados para garantir a consistência e correção da ontologia.
Documentação	A documentação é essencial para auxiliar nos processos de manutenção e reutilização da ontologia.
Manutenção	Ocorre a atualização da ontologia e sua correção.

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

por parte de 70% dos profissionais (MENDONÇA et al., 2020). O editor OntoUML Lightweight (OLED), além de estar enraizado nos princípios da UFO, incorpora características apropriadas para a engenharia ontológica, que se destacam por sua simplicidade e eficácia. Por meio da plataforma OLED, torna-se viável efetuar verificações de natureza sintática, inferencial, bem como validações relacionais (ONTOUML, 2013)

2.5 TRABALHOS RELACIONADOS

Para a identificação de estudos pertinentes e relacionados à presente pesquisa, foi realizada uma revisão rápida (rapid review), utilizando as palavras-chave em português e inglês "Ontologia", "Vacina"e o conector "AND". Procedeu-se a uma investigação nas seguintes bases de dados científicos: IEEE, PubMed, arXiv e nos periódicos indexados na Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). O escopo desta busca visou à delimitação de trabalhos relacionados às ontologias de vacinas, objetivando o discernimento das principais aplicações e dos enfoques metodológicos empregados, bem como dos desafios inerentes. No intuito de conduzir a seleção e exclusão de trabalhos, foram estabelecidos critérios delineados na Tabela 6.

Tabela 6 – Critérios de seleção

Critérios de inclusão	**Critérios de exclusão**
Idioma: Português e Inglês	Modelos ontológicos relativos a vacinas para animais.
Artigos disponíveis gratuitamente	Publicações não acadêmicas.
Modelos ontológicos relacionados com vacinas	Obras duplicadas.

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Com o intuito de realizar um refinamento mais rigoroso, foram criteriosamente selecionados os estudos publicados nos últimos cinco anos. Para a seleção e extração de informações dos artigos, empregou-se a ferramenta *Elicit*[1], uma assistente de pesquisa que automatiza determinadas etapas do fluxo de trabalho de pesquisadores, permitindo a obtenção de detalhes como resumos, intervenções e resultados. Adicionalmente, foi empregada a ferramenta *ConnectedPapers* [2], a qual oferece uma abordagem visual para localizar e explorar artigos relevantes ao tema investigado, possibilitando a criação de gráficos que destacam publicações similares àquelas abordadas no âmbito da pesquisa. Dessa forma, é possível verificar se algum artigo potencialmente significativo foi inadvertidamente esquecido. A utilização dessas ferramentas possibilitou uma seleção mais eficiente dos trabalhos, corroborando que a maioria dos artigos selecionadas estão intrinsecamente interligadas. Após a conclusão desse processo, foram identificados 62 artigos, considerando os critérios de exclusão e inclusão. Dentre esses, foram selecionados cinco trabalhos correlatos, levando em consideração as seguintes condi-

[1] https://elicit.org/
[2] https://www.connectedpapers.com/

ções: trabalhos mais recentes e relevantes para esta pesquisa, bem como aqueles mais citados entre eles. Essa seleção pode ser visualizada na Tabela 7.

Tabela 7 – Trabalhos Selecionados

Título	Link
VIO: ontology classification and study of vaccine responses given various experimental and analytical conditions	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31865910/.
Ontology-based Precision Vaccinology for Deep Mechanism Understanding and Precision Vaccine Development	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33238868/.
Modeling COVID-19 Vaccine Adverse Effects with a Visualized Knowledge Graph Database	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36011076/.
Identification of missing hierarchical relations in the vaccine ontology using acquired term pairs	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35964149/.
Alignment of vaccine codes using an ontology of vaccine descriptions	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36258262/.

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Ong et al. (2019) enfatiza a existência de diversas ontologias relacionadas à investigação de vacinas, com destaque para a *Vaccine Ontology* (VO), que representa entidades pertinentes a vacinas. É ressaltada a importância de uma ontologia integrada, alinhada à investigação com base nas ontologias existentes. O desenvolvimento da *Vaccine Investigation Ontology* (VIO) foi concebido com o propósito de modelar os processos envolvendo vacinas, visando explorar hipóteses acerca de como distintas condições, sejam elas experimentais ou analíticas, podem influenciar a resposta do hospedeiro às vacinas. A VIO foi empregada para a padronização e análise das respostas imunológicas induzidas pela vacina da febre amarela.

A VIO foi desenvolvida como uma extensão da *Vaccine Ontology* (VO), seguindo os princípios de desenvolvimento eXtensible *Ontology Development* (XOD). A ferramenta Ontofox foi utilizada para extrair uma lista de termos e informações relevantes, incluindo axiomas lógicos e anotações da VO, e posteriormente importá-los para a VIO. Além disso, diversos termos da *Ontology of Biological* e *Clinical Statistics* (OBCS) e da *Ontology for Biomedical Investigations* (OBI), relacionados à investigação de vacinas, foram também incorporados à VIO utilizando o Ontofox. Esses termos, originários de distintas ontologias, foram alinhados eficazmente e

de forma transparente no contexto da VIO. O resultado obtido foi posteriormente aprimorado e validado através do uso do editor Protégé OWL. Em conclusão, os autores destacam que o desenvolvimento e aplicação da VIO na padronização e análise da investigação sobre vacinas contribuem para uma melhor integração e compreensão dos mecanismos imunológicos subjacentes induzidos pela vacinação (ONG et al., 2019).

A Vaccine Ontology (VO) faz o uso da Basic Ontologia Formal (BFO) e a Relation Ontology (RO) (HE et al., 2009). A VO é uma ontologia biomédica cujo objetivo é padronizar a anotação de informações associadas a vacinas. A VO se dedica à categorização de vacinas, seus componentes, qualidade e às respostas do hospedeiro provocadas pela imunização. A VO incorpora terminologias de ontologias externas, incluindo a *Chemical Entities of Biological Interest* (CHEBI), a *Foundational Model of Anatomy* (FMA) e a *Infectious Disease Ontology* (IDO).

W Abeysinghe R e L. (2022) destacam que a Vaccine Ontology (VO) apresentou lacunas no conhecimento e inconsistências em sua modelagem, em relação às relações hierárquicas. A identificação de problemas em ontologias não é uma atividade prática ou sustentável utilizando métodos manuais. Portanto, torna-se imperativo explorar abordagens automatizadas ou semiautomatizadas para auxiliar na detecção de eventuais lacunas na qualidade. A ontologia pode ser facilmente encontrada no OBO Foundry.

Em um trabalho mais recente o estudo apresentou uma abordagem automatizada baseada em análise lexical para identificar relações *is-a* possivelmente ausentes na VO, aproveitando as discrepâncias terminológicas entre pares de conceitos. No total, a abordagem proposta sugeriu a possível ausência de 232 relações *is-a* na ontologia. Os resultados destacam a elevada eficácia da abordagem lexical na identificação de relações *is-a* na Ontologia de Vacinas, tendo sido identificadas e apontadas um total de 232 relações is-a potencialmente faltantes (W ABEYSINGHE R; L., 2022). A identificação desses problemas na VO é crucial para que outros modelos ontológicos também possam elaborar meios e formas de avaliar as possíveis lacunas que possam existir.

Diferentemente do estudos apresentados, a ontologia criada nesta dissertação (conhecida como IMUNO-ONTO), Considerando que a UFO vem sendo explorada em diversos domínios, evidencia-se a necessidade de modelar ontologias voltadas à saúde, com o objetivo de incentivar a modelagem em mais domínios relacionados à área da saúde, possibilitando, dessa forma, o alinhamento entre ontologias, e sua riqueza de detalhes, que é alimentada pelas informações extraídas e atualizadas a partir do Calendário Nacional de Vacinação do Brasil. Essa abordagem

garante que a IMUNO-ONTO não apenas forneça uma estrutura sólida e consistente, mas também esteja intrinsecamente vinculada às práticas de vacinação no contexto brasileiro, proporcionando um nível superior de precisão e utilidade.

3 METODOLOGIA

Este trabalho de pesquisa, devido à sua orientação para a aplicação em um contexto específico e à aquisição de conhecimento, é caracterizado como uma pesquisa de natureza aplicada (GIL, 2017). A pesquisa também adota uma abordagem qualitativa devido às suas características de verificação, envolvendo atividades de observação, reflexão e interpretação. À medida que a análise progride, a organização lógica do trabalho se torna significativamente mais complexa (GIL, 2002).

Além disso, trata-se de uma pesquisa descritiva com o objetivo de abordar a descrição de características e estabelecer relações entre variáveis, caracterizando-se pelo uso de técnicas de padronização de coleta de dados. Fazendo uso de procedimentos bibliográficos e documentais, é necessário utilizar fontes diversas devido à necessidade de fazer uso de materiais que tenham recebido tratamento analítico e algum tratamento prévio (GIL, 2002).

Para facilitar o entendimento das nomenclaturas mais utilizadas ao longo do texto, foi elaborado um quadro de terminologias relacionadas às três linguagens empregadas: UML (Unified Modeling Language), OWL (Web Ontology Language) e DL (Description Logic). Esse recurso visa aprimorar a compreensão durante a leitura, e as nomenclaturas podem ser consultadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Terminologia

Linguagem	Nomenclatura
UML (Unified Modeling Language)	Estereótipos de Classe (exemplos: kind, subkind e mode) e Estereótipos de Relacionamento (exemplos: mediation e characterization), juntamente com meta-propriedades como Identidade, Rigidez e Dependência.
OWL (Web Ontology Language)	datatypes.
DL (Description Logic)	Instâncias(indivíduo), Axioma .

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A escolha da UFO advém das seguintes premissas: (i) padronização, pois fornece uma estrutura padrão para representar o conhecimento, garantindo consistência e interoperabilidade, (ii) compreensão aprofundada, permitindo uma representação mais precisa e profunda do conhecimento em domínios complexos, e (iii) integração de dados, facilitando a integração de informações de diferentes fontes, promovendo a colaboração e a tomada de decisões. A

UFO ainda propõe um dicionário de categorias e um conjunto de restrições associadas que permitem ajudar na avaliação do modelo ontológico.

A metodologia de desenvolvimento adotada consistiu na utilização da abordagem Methontology. As etapas do desenvolvimento podem ser visualizadas abaixo.

- **Especificação** - Nesta fase, o objetivo está relacionado à definição das informações necessárias para a modelagem da ontologia, considerando o objetivo principal e os cenários de uso. Esses propósitos podem ser encontrados nas seções 1.2, 1.3 e 1.5.

- **Aquisição de conhecimento** - Nesta fase, ocorre a coleta das informações que serão utilizadas para a modelagem da ontologia. Para a extração de informações, foram consultados o *Calendário Nacional de Vacinação*[1] e o *Manual de Normas e Procedimentos para Vacinação*[2]

- **Conceituação** - Fase em que as informações coletadas na etapa de conhecimento são utilizadas para identificar os conceitos e, assim, criar o glossário com os principais conceitos da ontologia, conforme apresentado no Apêndice A.

- **Formalização** - Para elaborar um modelo conceitual ontológico, a ferramenta escolhida para conduzir esse processo foi o OLED, utilizado para a modelagem da ontologia em conformidade com os princípios da ontologia de topo UFO. Dessa forma, decidiu-se não reutilizar um modelo ontológico já existente, concluindo assim a fase de Integração.

- **Implementação** - Na fase de Implementação, a ferramenta Protegé foi utilizada, na qual também foram realizadas a avaliação de testes de integridade e estudos de caso.

- **Avaliação** - O processo de avaliação ocorreu desde a fase de Formalização.

  Os testes realizados na ontologia de vacinas foram conduzidos em várias etapas para garantir a robustez e eficácia do modelo proposto. Inicialmente, foi conduzida uma verificação automatizada de consistência da ontologia, tanto na ferramenta OLED, buscando identificar possíveis inconsistências e erros conceituais de acordo com os padrões da UFO. Posteriormente, a verificação foi realizada também na ferramenta Protegé, por meio do uso de um raciocinador, visando identificar possíveis inconsistências lógicas e equivalências entre os conceitos. Para validar a aplicabilidade prática da ontologia, foram

[1] https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/c/calendario-nacional-de-vacinacao
[2] https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manualprocedimentos_vacinacao.pdf

realizados estudos de caso representativos, permitindo a avaliação do desempenho do modelo em cenários do mundo real.

Além disso, foi conduzida entrevista com um especialista na área de vacinas, visando identificar limitações e potencialidades do modelo, além de receber recomendações para melhorias. Essas interações com o especialista resultaram na proposição de novos estudos de casos, ampliando o escopo e a utilidade da ontologia. O uso de múltiplas abordagens de teste e a colaboração com o especialista desempenharam um papel fundamental na validação e aprimoramento contínuo da ontologia de vacinas. A avaliação abrangeu tanto a validação do conteúdo da ontologia quanto a dos resultados gerados nos estudos de caso. O instrumento de coleta de dados consistiu em entrevista com perguntas semi estruturadas, e o método de análise dos dados foi qualitativo. A avaliação completa está detalhada no Capítulo 6.

Como etapa final, foi conduzida uma entrevista com uma especialista da área. Ressalta-se que a entrevistada é uma enfermeira e coordenadora de um programa municipal de imunização (PNI), com experiência prévia como instrutora no curso técnico de enfermagem. Ela ministra palestras e entrevistas relacionadas a campanhas de vacinação, esquema vacinal e atuação dos profissionais em sala de vacina. Adicionalmente, ministra capacitação em curso de atualização em "Sala de Vacina"para os profissionais de enfermagem que atuam na rede de saúde.

Para tanto, procedeu-se com o seguinte fluxo: (1) definição do objetivo da entrevista, (2) definição do roteiro (destacadas mais abaixo), (3) realização da entrevista, (4) transcrição das respostas, e (5) análise dos resultados. Para a análise do conteúdo, foi possível identificar padrões, tendências e insights. Isso pôde incluir a identificação de pontos fortes e fracos na ontologia de vacinas, bem como sugestões de melhorias.

Em relação aos grupos de usuários que poderiam utilizar a ontologia, foram formuladas as seguintes perguntas:

1. Para um usuário consultando uma ontologia de vacinas, quais informações ele normalmente buscaria?
2. Para um profissional em uma sala de vacinação, quais são as necessidades que precisam ser atendidas ao utilizar uma ontologia de vacinas?

3. Para um estudante de saúde, quais informações são mais pertinentes ao utilizar uma ontologia de vacinas?
4. Quais são suas sugestões de melhoria para a ontologia de vacinas, visando atender às diferentes necessidades dos usuários?

O uso da Metodologia Methontology desempenhou um papel fundamental na orientação da modelagem da ontologia, uma vez que possui etapas fundamentais que agregam diversos aspectos da modelagem ontológica. É crucial empregar uma metodologia que auxilie na subdivisão do processo de construção em etapas menores, tornando os processos mais simples e específicos.

4 MODELO CONCEITUAL EMBASADO NA UFO

Neste capítulo, destacamos o modelo conceitual criado nesta pesquisa: a IMUNO-ONTO. Após apresentar uma visão mais holística, na seções seguintes destalhamos os principais conceitos representados, a saber: Vacina, Pessoa e Doença. Toda a representação conceitual é discutida com embasameto nos esteriótipos da UFO. O modelo foi construído na ferramenta OLED, discutida ao final do capítulo.

4.1 IMUNO-ONTO

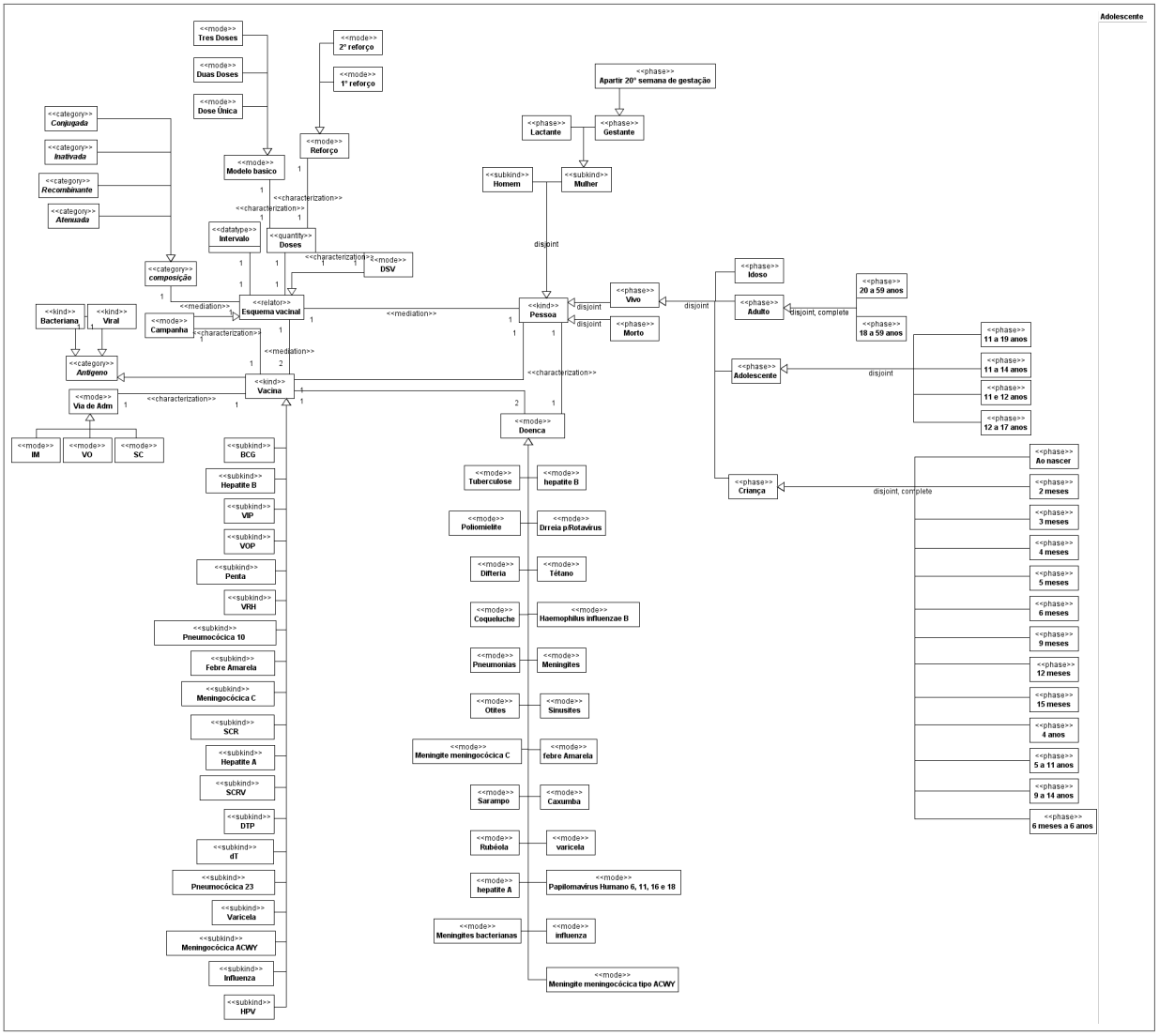
A IMUNO-ONTO é o principal resultado desta pesquisa. É uma ontologia que se concentra na compreensão formal e teórica do sistema de vacinação no contexto brasileiro. Para sua elaboração, foi empregada a linguagem OntoUML. Essa ontologia foi construída como uma extensão fundamentada na UFO, considerando aspectos de identidade, rigidez, tipos e indivíduos. A ferramenta OLED foi empregada para modelar os conceitos apresentados na Figura 5.

Para elucidar a estrutura da IMUNO-ONTO, é imperativo destacar os três conceitos-chave inerentes ao modelo: **Vacina**, **Pessoa** e **Doença**. Em um contexto mais amplo, uma **Vacina** é aplicada a grupos de **pessoas** visando a prevenção de uma ou múltiplas **Doenças**.

4.1.1 O Conceito Vacina

Os conceitos de **Vacina** e **Pessoa** são estereótipos do tipo *kind*, uma vez que se referem a objetos e possuem um princípio de identidade, fornecendo identificação e sendo existencialmente independentes. Outra característica desse tipo de conceito é a *rigidez*, o que significa que suas características essenciais permanecem inalteradas ao longo de sua existência. Por outro lado, o conceito de **Doença** é um estereótipo do tipo *mode*, que representa uma instância de propriedade intrínseca dependente de seus portadores, sendo, neste caso, o conceito de**Pessoa** considerado um subtipo permitido, uma vez que as doenças afeta pessoas. *Mode* é um conceito *rigido*, e uma regra para seu uso estabelece que deve estar diretamente ou indiretamente associado a uma relação de *characterization* com pelo menos uma associação final. Caso as regras não sejam seguidas, o modelo apresentará esse erro durante a validação

Figura 5 – Modelo Conceitual da IMUNO-ONTO

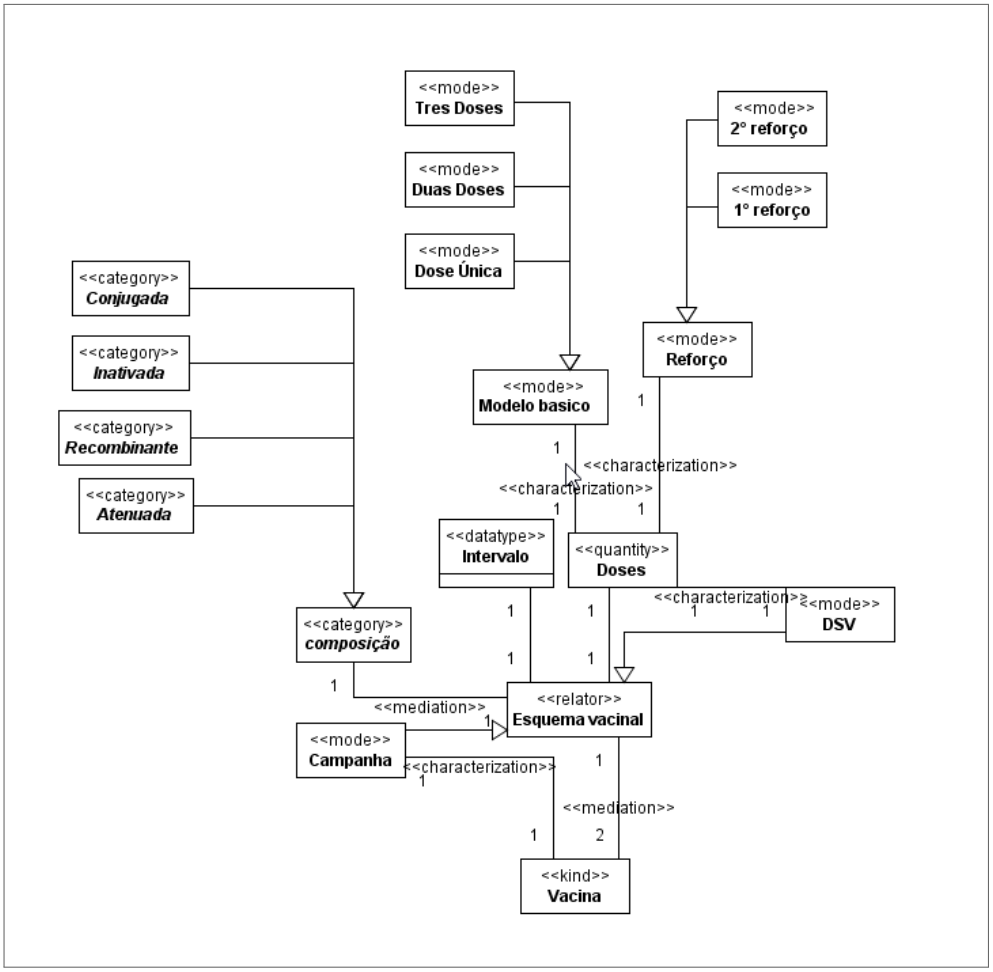


Fonte: Própria

do modelo.

O processo de vacinação pode variar entre diferentes formas, incluindo **Campanha**s e variações de acordo com diferentes públicos-alvo. Além das vacinas presentes no calendário vacinal, cada **vacina** possui um **Esquema vacinal** próprio que engloba informações sobre **intervalo** e número de **Doses**. Estas **Doses** podem assumir diferentes tipos, no **Modelo basico** onde temos **Dose Única**, **Duas Doses** ou **Três Doses**, além de **Reforço** com possibilidade de **1°reforço** ou **2°reforço**. O **Esquema vacinal** pode ser aplicado de forma específica, dependendo da situação vacinal do indivíduo (**DSV**), em que a administração da dose é realizada. As informações referentes à **composição** das vacinas abrange as categorias como **Atenuada**, **Inativa**, **Recombinante** e **Conjugada**, cujas relações entre os conceitos podem ser observadas na Figura 6.

Figura 6 – Relações do conceito Vacina



Fonte:Propria

Os conceitos **Campanha**, **Modelo básico**, **Dose Única**, **Duas Doses**, **Três Doses**, **Reforço**, **1° reforço**, **2° reforço** e **DSV** são estereótipos do tipo *mode*. É observável que os conceitos **Modelo básico** e **Reforço** possuem uma relação direta do tipo *characterization* com a conceito **Dose** enquanto os demais conceitos possuem uma relação indireta com essa relação. Além disso, todos esses conceitos são considerados *rígidos*.

Os conceitos **Composição**, **Atenuada**, **Inativa**, **Recombinante** e **Conjugada** têm o estereótipo de *category*, que não requer especificação de dependência, mas agrega propriedades essenciais e comuns. Eles podem ser aplicados a indivíduos que seguem diferentes princípios de identidade, caracterizando-os como *mixins rígidos*. Esses conceitos pertencem a uma categoria abstrata, e, de acordo com convenções, os rótulos de conceitos abstratos são escritos em *itálico*.

Esquema vacinal é um conceito do estereótipo *relator*, no qual todas as instâncias são existencialmente dependentes de pelo menos duas entidades, caracterizando-se como uma

instância de propriedade relacional. Todo *relator* deve estar, direta ou indiretamente, associado a pelo menos uma relação de *mediation*. Dessa forma, um *relator* sempre requer a existência de outros indivíduos para existir. **Intervalo** é representado por possíveis valores de um atributo do tipo 'datatype' que abrange valores inteiros, números decimais e datas. **Dose** é representado pelo estereótipo *quantity*, o qual descreve conceitos *rígidos* que fornecem um princípio de identidade para suas instâncias, podendo representar uma quantidade de material fortemente conectada.

Cada **Vacina** contém um **Antígeno**, uma substância que estimula a produção de anticorpos. Estes **Antígenos** podem ser de natureza **Viral** ou **Bacteriana**. Cada **Vacina** também possui uma via de administração (**Via Adm**) específica, como intramuscular (**IM**), via oral (**VO**) e subcutânea (**SC**). Dentre as vacinas que compõem o calendário vacinal brasileiro, estão incluídas: **BCG, Hepatite B, VIP, VOP, Penta, VRH, Pneumocócica 10, Febre Amarela, Meningocócica C, SCR, Hepatite A, SCRV, DTP, dT, Pneumocócica 23, Varicela, Meningocócica ACWY, Influenza e HPV**.

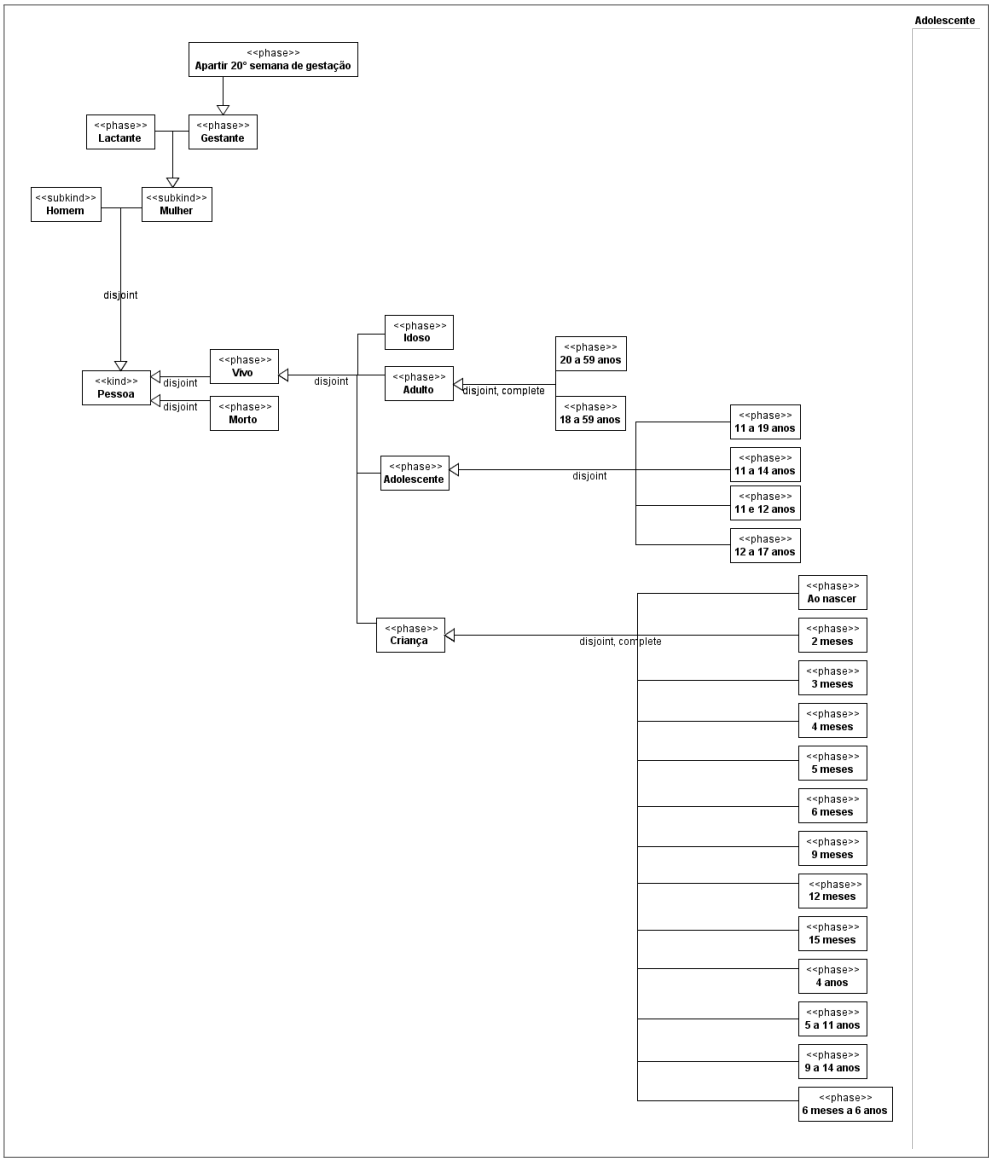
Os conceitos **Via Adm**, **VO**, **SC** e **IM** são do tipo *mode* e não possuem um valor estruturado, sendo de propriedade intrínseca e *rígida*. **Via Adm** possui uma relação direta de *Characterization* com **Vacina**, enquanto os outros conceitos possuem uma relação indireta. Os conceitos **BCG, Hepatite B, VIP, VOP, Penta, VRH, Pneumocócica 10, Febre Amarela, Meningocócica C, SCR, Hepatite A, SCRV, DTP, dT, Pneumocócica 23, Varicela, Meningocócica ACWY, Influenza e HPV** são estereótipos do tipo *subkind*, que sempre devem ter um provedor de identidade, neste caso, o provedor de identidade é **Vacina**.

4.1.2 O Conceito Pessoa

Uma **pessoa** (Figura 7) pode estar classificada como **Viva** ou **Morta**. Um indivíduo classificado como **Vivo** pode ser categorizado como **Criança**, **Adolescente**, **Adulto** ou **Idoso**. A categoria **Criança** abrange períodos de administração de vacinas como **Ao nascer**, **2° meses**, **3° meses**, **4° meses**, **5° meses**, **6° meses**, **9° meses**, **12° meses**, **15° meses**, **4 anos**, **5 a 11 anos** e **9 a 14 anos**. O conceito de **Adolescente** abrange idades como **11 a 12 anos**, **11 a 14 anos**, **12 a 17 anos** e **11 anos a 19 anos**. A categoria **Adulto** compreende faixas etárias de **18 a 59 anos** e **20 a 59 anos**. Cada **Pessoa** pode ser identificada como **Homem** ou **Mulher**. No contexto da vacina **HPV**, o gênero é considerado para a definição da faixa etária do público alvo para a vacinação. Uma **Mulher** pode estar em circunstâncias

que influenciem o esquema vacinal, tais como ser **lactante**, **Gestante** e o período a partir da **20ª semana de gestação**.

Figura 7 – Relações do conceito Pessoa



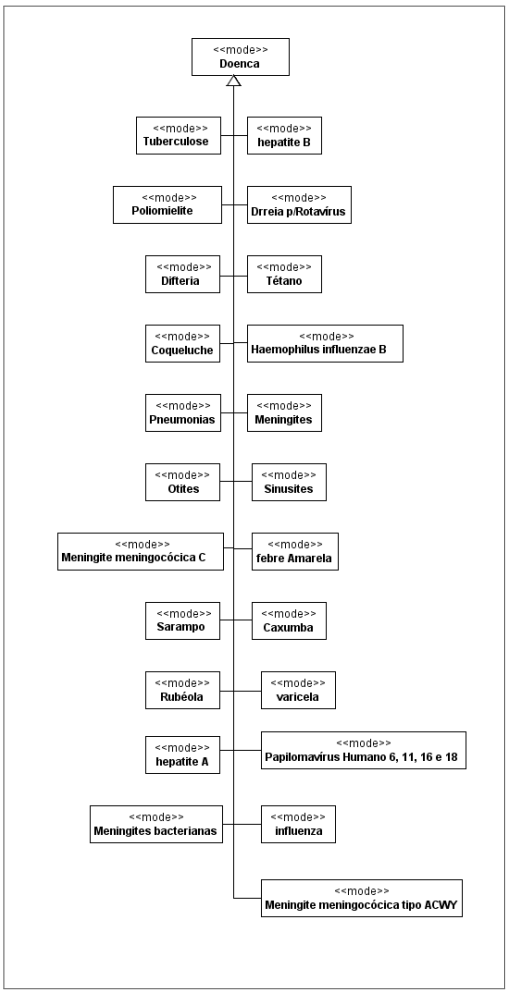
Fonte:Propria

Os conceitos **Viva**, **Morta**, **Criança**, **Adolescente**, **Adulto**, **Idoso** e os conceitos referentes às idades possuem o estereótipo *phase* da categoria *antirrígidos*, dessa forma não provendo identidade para os indivíduos. A identidade vem de um *kind*, neste caso, **Pessoa**. Portanto, uma pessoa pode mudar de *phase* ao longo do tempo, podendo estar em *phase* **viva** e em outra **morta**, assim como as *phase* de idade mudam ao longo do tempo, como os conceitos **lactante**, **Gestante** e **20ª semana de gestação**. Os conceitos **Homem** e **Mulher** possuem o estereótipo *subkind* e representam especializações rígidas de provedores como *kind*, neste caso, **Pessoa**.

4.1.3 O Conceito Doença

O conceito de **Doença** (Figura 8) mantém relações com as afecções que são alvo da ação profilática das vacinas, que englobam **Tuberculose, Poliomelite, Hepatite B, Diarreia por Rotavírus, Tetano, Coqueluche, Haemophilus influenzae B, Pneumonias, Meningites, Otites, Sinusites, Meningite Meningocócica C, Sarampo, Caxumba, Rubéola, Varicela, Hepatite A, Papilomavírus Humano (6, 11, 16 e 18), Meningites Bacterianas, Influenza e Meningite Meningocócica Tipo ACWY**. Esses conceitos de **Doença**, assim como a própria, têm o estereótipo *mode*, que não possui valor estruturado, sendo individuais que dependem de seus portadores e são *rígidos*.

Figura 8 – Relações do conceito Doença



Fonte:Propria

4.1.4 Ferramenta de Modelagem: OLED

A ferramenta OLED, devido aos seus recursos, proporciona capacidades para efetuar a análise sintática, avaliação de modelo, detecção e correção automatizada, bem como validação do modelo ontológico.

A escolha pela ferramenta OLED foi motivada pela necessidade de verificação do modelo. Como o modelo UFO, base da OLED, é um framework utilizado para a descrição de informações semânticas em ontologias, ele fornece um conjunto de regras e estruturas que precisam ser rigorosamente atendidas para garantir a consistência e precisão das informações representadas. A especificação da UFO está disponível em https://ontouml.readthedocs.io/en/latest/intro/ufo.html.

Destacamos, a seguir, as principais restrições da especificação da UFO:

1. O esteriótipo «kind» não pode especializar «subkind», «phase», «role», e «roleMixin»;
2. O esteriótipo «subkind» não pode especializar «phase», «role», «roleMixin», e deve existir exatamente um supertipo «kind», direta ou indiretamente;
3. O esteriótipo «phase» é definido como parte de uma partição. Deve existir exatamente um supertipo «kind», direta ou indiretamente;
4. A cardinalidade do lado oposto ao tipo «role» deve ser $>= 1$. Deve existir exatamente um supertipo «kind», direta ou indiretamente;
5. O esteriótipo «mixin» não pode especializar «kind», «subkind», «phase», «role», «roleMixin»;
6. O esteriótipo «category» não pode especializar «kind», «subkind», «phase», «role», e «roleMixin»;
7. O esteriótipo «rolemixin» não pode especializar «kind», «subkind», «phase», «role». Deve existir uma relação com cardinalidade $>= 1$ no lado oposto da associação.

Além disso, a ferramenta OLED é capaz de transformar o arquivo para o formato OWL. Este tipo de extensão possibilitou a migração do modelo construído para a ferramenta Protégé, permitindo sua implementação.

5 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO IMUNO-ONTO

A segunda fase do projeto foi executada empregando a ferramenta Protégé (versão 5.5.1), com a utilização da modelagem previamente gerada pelo OLED, no formato OWL. Destacamos neste capítulo, a modelagem no Protégé e a axiomatização do modelo usando a Lógica Descritiva discutida no Capítulo 2. Para efeitos de compreensão, ao longo do capítulo, os termos conceitos e classes representam a mesma entidade.

5.1 IMPLEMENTAÇÃO NO PROTÉGÉ

No protegé os superConceitos e subConceitos representam a taxonomia do domínio e abrangem um conjunto de conceitos e sua hierarquia. As *Object Properties*Object properties são utilizadas para especificar classes e relacionar indivíduos entre si. Os *individuals* representam as instâncias da classe. Já os axiomas são as regras capazes de representar, organizar e compartilhar o conhecimento do domínio. No Protegé, todas as ontologias são criadas inicialmente com a partir da *owl:Thing*, que representa a classe pai de todas as outras classes na ontologia.

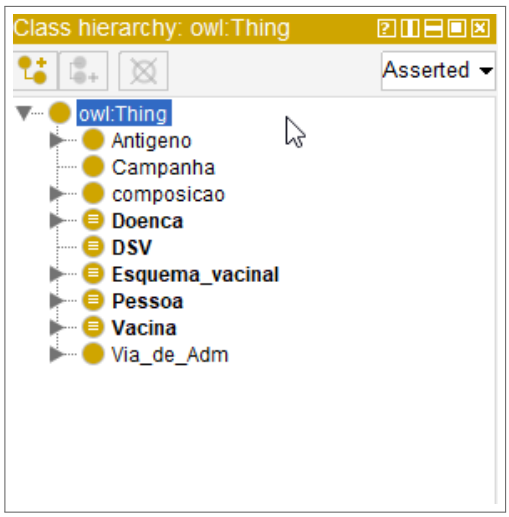
Durante esse processo, foi necessário efetuar ajustes no arquivo, em virtude da presença de informações duplicadas relacionadas a conceitos e relações. Foi imprescindível realizar as modificações requeridas, alinhando-as com a modelagem visual do modelo conceitual. A Figura 9 apresenta a estrutura resultante dos SuperConceitos na ontologia: Antígeno, Campanha, Composição, Doença, DSV, Esquema vacinal, Pessoa e Vacina.

Na Figura 10, é perceptível a representação dos conceitos interligados à categoria **Vacina**, juntamente com os superconceitos e conceitos associados. Uma distinção notória em relação ao modelo conceitual reside na incorporação dos Abox referentes ao conceito de vacina e às suas instâncias correspondentes.

As relações do conceito **Vacina** podem ser visualizadas na Tabela 9, que apresenta as relação com outros conceitos. Assim, torna-se possível fazer uma comparação com o modelo conceitual elaborado anteriormente.

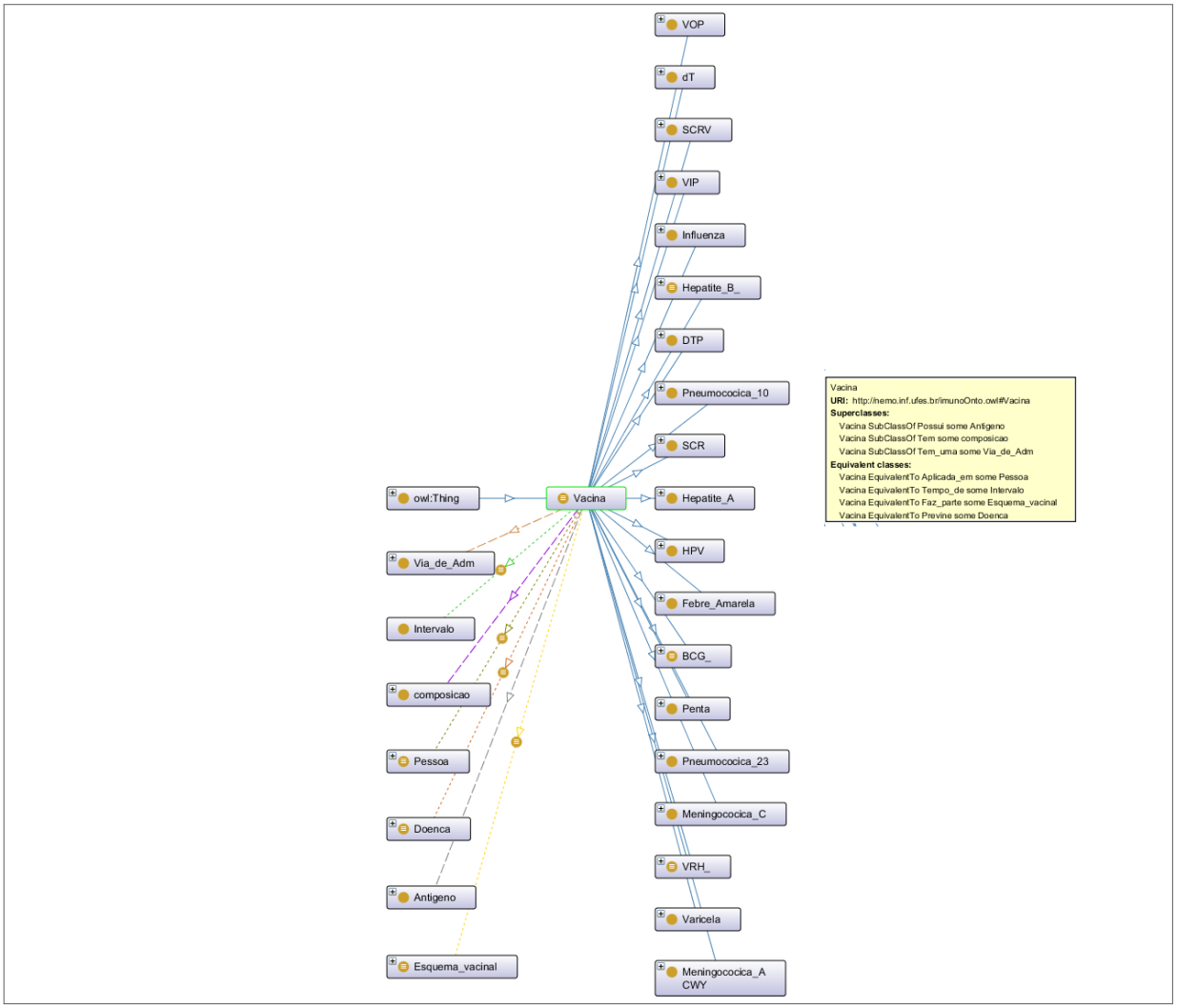
Os conceitos **Doença** e **Vacina**, conforme apresentado na Figura 11, mantêm uma relação de *Previne*, indicando que as vacinas previnem uma ou mais doenças. O conceito **Doença** possui subclasses que representam diferentes doenças, tais como **Tuberculose, Poliomielite,**

Figura 9 – Super Conceitos no Protegé



Fonte: Propria

Figura 10 – Conceito Vacina



Fonte: Propria

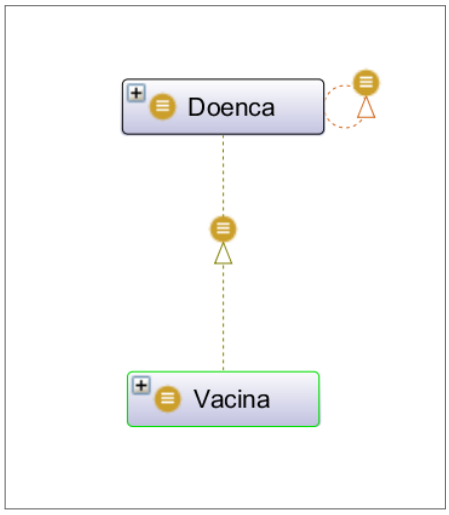
Tabela 9 – Relações do conceito Vacina com outros conceitos

Relação	Conceito
tem uma	via de Adm
Tempo de	Intervalo
Imuniza	Doença
Tem	Composição
Aplicada em	Pessoa
Possui	Antigeno
Faz parte	Esquema vacinal
E_uma	composição
has subclass	BCG, Hepatite B, VIP, VOP, Penta, VRH, Pneumocócica 10, Febre Amarela, Meningocócica C, SCR, Hepatite A, SCRV, DTP, dT, Pneumocócica 23,Varicela, Meningocócica ACWY, Influenza e HPV.

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

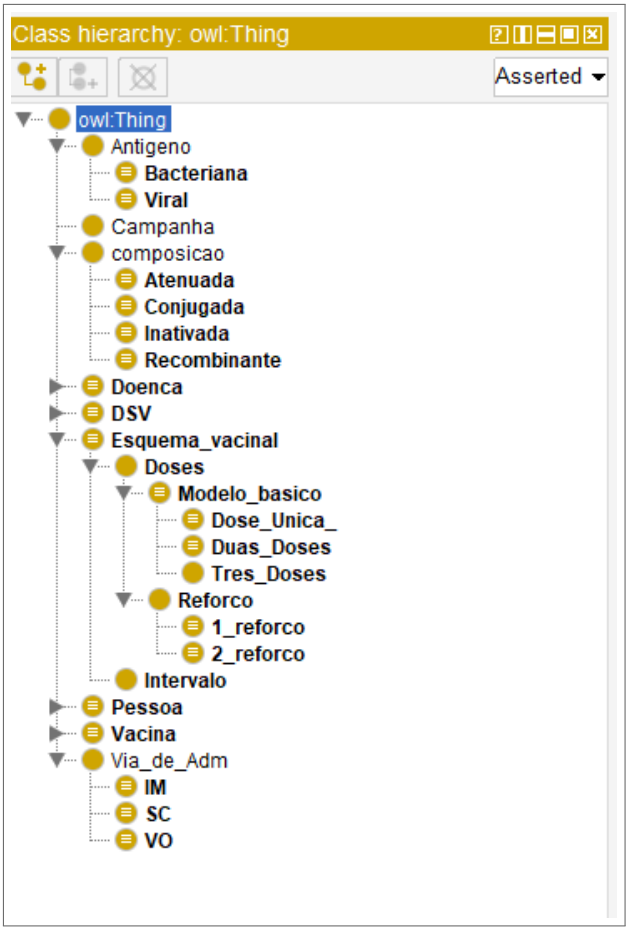
Hepatite B, Diarreia por Rotavírus, Tétano, Coqueluche, Haemophilus influenzae B, Pneumonias, Meningites, Otites, Sinusites, Meningite Meningocócica C, Sarampo, Caxumba, Rubéola, Varicela, Hepatite A, Papilomavírus Humano (6, 11, 16 e 18) e Meningites Bacterianas. Em ambas as classes, as relações com as subclasses são do tipo *has subclass*. Os outros conceitos seguem a mesma estrutura do modelo conceitual, onde os conceitos mais externos são subconceitos dos mais internos, como pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 11 – Conceito vacina e doença



Fonte: Própria (2023)

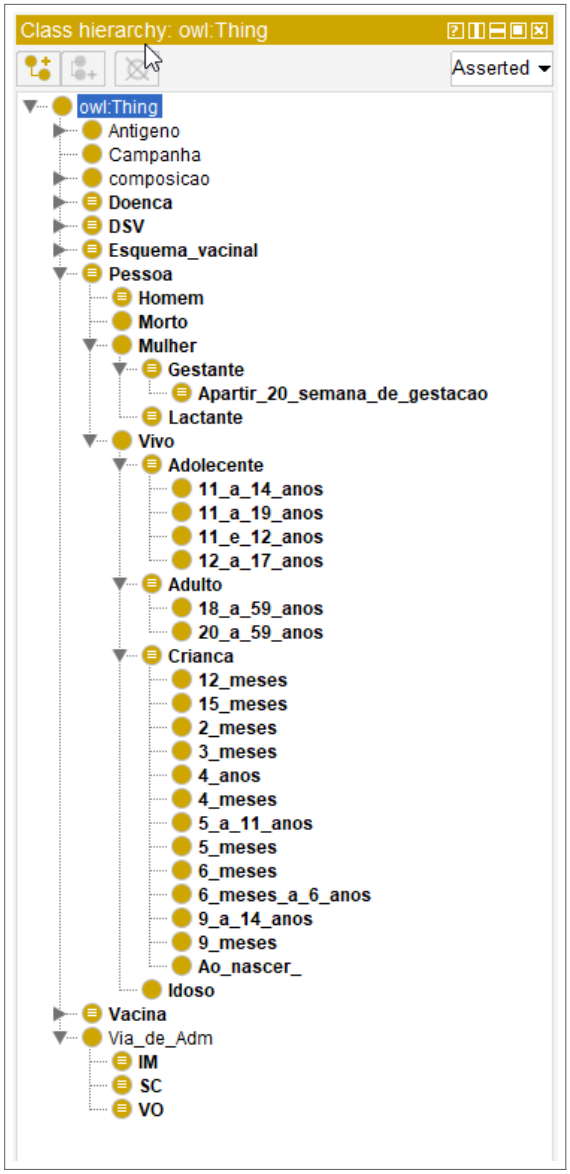
Figura 12 – Conceitos Antigeno, composição,esquema vacinal e Via de adm.



Fonte: Própria (2023)

O conceito **Pessoa** possui a relação *segue* com o conceito *Esquema vacinal*, uma vez que cada pessoa, como um ser individual, possui seu próprio esquema vacinal, mesmo que siga o calendário de vacinação padrão. Além disso, o conceito **Pessoa** possui a relação *has subclass* com os conceitos **Mulher**, **Homem**, **Vivo** e **Morto**. Os conceitos **Homem** e **Mulher** possuem subconceitos relacionados por meio da relação *has subclass*, conforme pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 – Conceito Pessoa



Fonte: Própria (2023)

5.2 AXIOMATIZAÇÃO NA LÓGICA DESCRITIVA

Por questões de simplicidade, não estamos representando a lógica descritiva para relações hierárquicas. Destacamos, contudo, a axiomatização para Vacinas e Pessoas. As TBox $\mathcal{T}_{\text{vacina1}}$, $\mathcal{T}_{\text{vacina2}}$ e $\mathcal{T}_{\text{vacina3}}$ definem os axiomas para Vacina e suas subclasses. A separação da TBox foi feita apenas por questões pedagógicas, isto é, dividir para deixá-los mais legíveis. Portanto, temos que:

$$\mathcal{T}_{\text{vacina}} = \mathcal{T}_{\text{vacina1}} \cup \mathcal{T}_{\text{vacina2}} \cup \mathcal{T}_{\text{vacina3}} \tag{5.1}$$

$$
\mathcal{T}_{\text{Vacina1}} : \left\{
\begin{array}{lcl}
\text{Vacina} & \equiv & \exists\text{Previne.Doença} \sqcap \exists\text{Aplicada.Pessoa} \sqcap \exists\text{Aplicada.Pessoa} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.EsquemaVacinal} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tipo.Antigeno} \sqcap \exists\text{Uma.ViaDeAdm} \\
\text{BCG} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Tuberculose} \sqcap \exists \\
 & & \text{E_uma.Atenuada} \sqcap \exists\text{Aplicada.Ao_nascer} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.DoseUnica} \sqcap \exists\text{Tipo.Bacteriana} \sqcap \exists\text{Uma.SC} \\
\text{dT} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Tetano} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Difteria} \sqcap \exists \\
 & & \text{E_uma.Inativada} \sqcap \exists\text{Aplicada.Ao_nascer} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.TresDoses} \sqcap \exists\text{Tipo.Bacteriana} \sqcap \exists\text{Uma.IM} \\
\text{DTP} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Coqueluche} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Tetano} \\
 & & \sqcap\exists\ \text{Imuniza.Difteria} \sqcap \exists\text{E_uma.Inativada} \sqcap \exists \\
 & & \text{Aplicada.15_meses} \sqcap \exists\text{Aplicada.4_anos} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.Tres_Doses} \sqcap \exists\text{Tipo.Bacteriana} \sqcap \exists\text{Uma.IM} \\
\text{Febre_Amarela} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\text{Imuniza.febre_Amarela} \sqcap \exists\text{E_uma.Atenuada} \\
 & & \sqcap\exists\text{Aplicada.9_meses} \sqcap \exists\text{Aplicada.4_anos} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.Tres_Doses} \sqcap \exists\text{Tipo.Viral} \sqcap \exists\text{Uma.SC} \\
\text{Hepatite_B} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.hepatite_B} \sqcap \exists\text{E_uma.Recombinante} \\
 & & \sqcap\exists\text{Aplicada.Ao_nascer} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.Dose_Unica} \sqcap \exists\text{Tipo.Viral} \sqcap \exists\text{Uma.IM} \\
\text{HPV} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.pilomavirus_Humano_6,_11,_16_e_18} \\
 & & \sqcap\exists\text{E_uma.Recombinante} \sqcap \exists\text{Aplicada.9_a_14anos} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.Duas_Doses} \sqcap \exists\text{Tipo.Viral} \sqcap \exists\text{Uma.IM} \\
\text{Influenza} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.influenza} \sqcap \exists\text{E_uma.Inativada} \sqcap \exists \\
 & & \text{Aplicada.6meses_a_6_anos} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.Dose} \sqcap \exists\text{Tipo.Viral} \sqcap \exists\text{Uma.SC} \\
\text{Meningococica_ACWY} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Meningite_meningococica_tipo_ACWY} \\
 & & \sqcap\exists\text{E_uma.Conjugada} \sqcap \exists\text{Aplicada.11_e_12_anos} \\
 & & \sqcap\exists\text{Tem.Dose_Unica} \sqcap \exists\text{Tipo.Conjugada} \sqcap \exists\text{Uma.IM}
\end{array}
\right\}
$$

$$
\mathcal{T}_{\text{Vacina2}}: \left\{
\begin{array}{lcl}
\text{Meningococica_C} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Coqueluche} \sqcap \exists \\
 & & \text{Imuniza.Meningite_meningococica_C} \\
 & & \sqcap \exists \text{Aplicada.3_meses} \sqcap \exists \text{Aplicada.5_meses} \sqcap \exists \\
 & & \text{Aplicada.12_meses} \sqcap \exists \text{E_uma.Conjugada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.Tres_Doses} \sqcap \exists \text{Tipo.Bacteriana} \sqcap \exists \text{Uma.IM} \\
\text{Penta} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.hepatite_B} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Coqueluche} \sqcap \exists \\
 & & \text{Imuniza.Haemophilus_influenzae_B} \sqcap \exists \text{Aplicada.2_meses} \\
 & & \sqcap \exists \text{Aplicada.4_meses} \sqcap \exists \text{Aplicada.6_meses} \sqcap \exists \text{E_uma.Inativada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.Tres_Doses} \sqcap \exists \text{Tipo.Bacteriana} \sqcap \exists \text{Uma.IM} \\
\text{Pneumococica_10} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Otites} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Sinusites} \sqcap \exists \\
 & & \text{Imuniza.Pneumonias} \sqcap \exists \text{Aplicada.2_meses} \sqcap \exists \\
 & & \text{Aplicada.4_meses} \sqcap \exists \text{Aplicada.12_meses} \sqcap \exists \text{E_uma.Conjugada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.Tres_Doses} \sqcap \exists \text{Tipo.Bacteriana} \sqcap \exists \text{Uma.IM} \\
\text{Pneumococica_23} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Meningites} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Sinusites} \\
 & & \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Pneumonias} \sqcap \exists \text{Aplicada.2_meses} \sqcap \exists \\
 & & \text{Aplicada.4_meses} \sqcap \exists \text{Aplicada.12_meses} \sqcap \exists \text{E_uma.Conjugada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.DoseUnica} \sqcap \exists \text{Tipo.Bacteriana} \sqcap \exists \text{Uma.IM}
\end{array}
\right\}
$$

$$
\mathcal{T}_{\text{Vacina3}}: \left\{
\begin{array}{lcl}
\text{SCR} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Rubeola} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Caxumba} \sqcap \exists \\
 & & \text{Imuniza.Sarampo} \sqcap \exists \text{Aplicada.12_meses} \sqcap \exists \text{E_uma.Atenuada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.DoseUnica} \sqcap \exists \text{Tipo.Viral} \sqcap \exists \text{Uma.SC} \\
\text{SCRV} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Rubeola} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Caxumba} \sqcap \exists \\
 & & \text{Imuniza.Sarampo} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.varicela} \sqcap \exists \text{Aplicada.15_meses} \\
 & & \sqcap \exists \text{E_uma.Atenuada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.DoseUnica} \sqcap \exists \text{Tipo.Viral} \sqcap \exists \text{Uma.SC} \\
\text{Varicela} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.varicela} \sqcap \exists \text{Aplicada.4_anos} \sqcap \exists \text{E_uma.Atenuada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.DoseUnica} \sqcap \exists \text{Tipo.Viral} \sqcap \exists \text{Uma.SC} \\
\text{VIP} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Poliomielite} \sqcap \exists\ \text{Aplicada.2_meses} \\
 & & \sqcap \exists \text{Aplicada.4_meses} \sqcap \exists \text{Aplicada.6_meses} \sqcap \exists \text{E_uma.Inativada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.Tres_Doses} \sqcap \exists \text{Tipo.Viral} \sqcap \exists \text{Uma.IM} \\
\text{VOP} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Poliomielite} \sqcap \exists\ \text{Aplicada.15_meses} \\
 & & \sqcap \exists \text{Aplicada.4_anos} \sqcap \exists \text{E_uma.Atenuada} \sqcap \exists \text{Tem.Duas_Doses} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tipo.Viral} \sqcap \exists \text{Uma.VO} \\
\text{VHR} & \equiv & \text{Vacina} \sqcap \exists\ \text{Imuniza.Diarreia_p/Rotavirus} \sqcap \exists\ \text{Aplicada.2_meses} \\
 & & \sqcap \exists \text{Aplicada.4_meses} \sqcap \exists \text{E_uma.Atenuada} \\
 & & \sqcap \exists \text{Tem.Duas_Doses} \sqcap \exists \text{Tipo.Viral} \sqcap \exists \text{Uma.VO}
\end{array}
\right\}
$$

Além da definição das vacinas, um outro ponto chave foi a criação dos axiomas gerais, ou seja, aqueles utilizados para ajudar na inferência dos planos de vacinação. Em relação a tais axiomas, é importante destacar os diferentes grupos representados. No primeiro grupo, estão os axiomas que seguem uma idade definida (ou idade ideal) estabelecida pelo calendário de vacinação para crianças e adolescentes. A TBox $\mathcal{T}_{\text{Pessoa}}$ destaca os axiomas para o conceito Pessoa e suas subclasses.

$$\mathcal{T}_{\text{Pessoa}}: \left\{ \begin{array}{lll}
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{AoNascer} \sqsubseteq \exists \text{RecebeVacina.BCG} \sqcap \exists \text{ARecebeVacina.HepatiteB} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa_mais_2meses _idade} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiraDose.Penta} \sqcap \exists \text{PrimeiraDose.Pneumococica10} \sqcap \exists \text{PrimeiraDose.VIPl} \sqcap \exists \text{PrimeiraDose.VRHl} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _3meses _idade} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiraDose.MeningococicaC} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _4meses _idade} \sqsubseteq \exists \text{SegundaDose.Penta} \sqcap \exists \text{SegundaDose.Pneumococica10} \sqcap \exists \text{SegundaDose.VIP} \sqcap \exists \text{SegundaDose.VRH} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _5meses _idade} \sqsubseteq \exists \text{Segunda.MeningococicaC} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _6meses _idade} \sqsubseteq \exists \text{TerceiraDose.Penta} \sqcap \exists \text{TerceiraDose.VIP} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _9meses _idade} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiraDose.FebreAmarela} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _12meses _idade} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiraDose.SCR} \sqcap \exists \text{PrimeiroReforco.Pneumococica10} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _15meses _idade} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiraDose.HepatiteA} \sqcap \exists \text{PrimeiroReforco.DTP} \sqcap \exists \text{PrimeiroReforco.VOP} \sqcap \exists \text{SegundaDose.SCRV} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _4anos _idade} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiroReforco some FebreAmarela} \sqcap \exists \text{SegundaDose.Varicela} \sqcap \exists \text{SegundoReforco.DTP} \sqcap \exists \text{SegundoReforco.VOP} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _9a14anos _idade} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiraDose.HPV} \\
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Pessoa _mais _11a14anoss _idade} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiraDose.MeningococicaACWY}
\end{array} \right\}$$

Em um segundo grupo, estão os axiomas que expressam situações em que pode ser aplicada mais de uma vez, dependendo da condição. Por exemplo, a vacina **dTpa** que é administrada em gestantes a partir da 20ª semana de gestação, seguindo sempre que ocorrer uma gestação. O axioma que representa essa situação no TBox $\mathcal{T}_{\text{Gestante}}$:

$$\mathcal{T}_{\text{Gestante}}: \left\{ \begin{array}{lll}
\text{Pessoa} & \sqcap & \text{Apartir20semanaDeGestacao} \sqsubseteq \exists \text{PrimeiraDose.dTpa}
\end{array} \right\}$$

Um terceiro grupo de axiomas representa situações presentes nos calendários de vacinações para crianças, adolescentes, adultos e gestantes. Nessas situações, a vacinação depende da condição vacinal de cada indivíduo, seja pelo histórico de vacinação incompleto, nunca terem sido vacinados ou pela falta de comprovação de vacinação. Alguns desses axiomas são apresentados no A TBox $\mathcal{T}_{\text{Exceção}}$.

$$\mathcal{T}_{\text{Exceção}} : \left\{ \begin{array}{lcl} \text{Pessoa} \sqcap \text{MenorDe7Anos} \sqcap \text{SemComprovaçaoPenta} & & \\ \sqsubseteq \exists \text{IniciarEsquemaVacina.Penta} & & \\ \text{Pessoa} \sqcap \text{MenorDe7Anos} \sqcap \text{EsquemaIncompleto.Penta} & & \\ \sqsubseteq \exists \text{CompletarEsquemaVacina.Penta} & & \end{array} \right\}$$

Para representar situações em que uma pessoa tenha alguma alergia, é necessário especificar essas alergias. Portanto, uma pessoa que tenha recomendação para receber a vacina de febre amarela, mas tenha alergia grave ao ovo, mesmo que seja indicado que a pessoa tenha a idade ideal para receber a vacina, também é indicado que a pessoa tenha alergia grave ao ovo. Neste caso, o indivíduo precisa procurar orientação médica. Apresentado no A TBox $\mathcal{T}_{\text{Alergia}}$:

$$\mathcal{T}_{\text{Alergia}} : \left\{ \text{Pessoa} \sqcap \text{Alergia} \sqsubseteq \exists \text{TemAlergia.GraveAovo} \right\}$$

Para este último caso, é importante destacar que a lógica clássica não é a melhor solução para atender a estas exceções impostas. Um caminho seria utilizar uma Lógica Descritiva Preferencial (BRITZ; MEYER; VARZINCZAK, 2011), que permita axiomatizar exceções no contexto de sistemas imuno-biológicos. Essa axiomizatização funcionaria da seguinte forma: (1) para casos ditos típicos (ou "normais"), a recomendação das vacinas seguiria o calendário de vacinação atual, porém (2) se fossem identificadas exceções (como o caso de pacientes alérgicos) outras considerações precisariam ser feitas. Estas exceções, portanto, não são tratadas nesta presente pesquisa, sendo um possível desdobramento para trabalhos futuros.

6 AVALIAÇÃO ONTOLÓGICA

Apresentamos neste capítulo os tipos de avaliações ontológicas realizadas para verificar (a ontologia está correta?) e validar (esta é a ontologia correta?) o modelo proposto. De acordo com Degbelo (2017), "A avaliação de ontologias mensura quão bem uma ontologia se desempenha com relação a critérios específicos e é necessária para tarefas como classificação de ontologia ou reutilização de ontologia." Para tanto, algumas estratégias foram elencadas neste trabalho. Inicialmente, a avaliação da consistência do modelo conceitual foi subsidiada pela própria ferramenta OLED. Em seguida, foram conduzidos experimentos de estudo de caso para identificar a presença de outras inconsistências. Esses testes foram conduzidos na ferramenta Protegé, utilizando o raciocinador padrão da ferramenta, o HermiT, para os quais foram formulados e executados estudos de caso específicos.

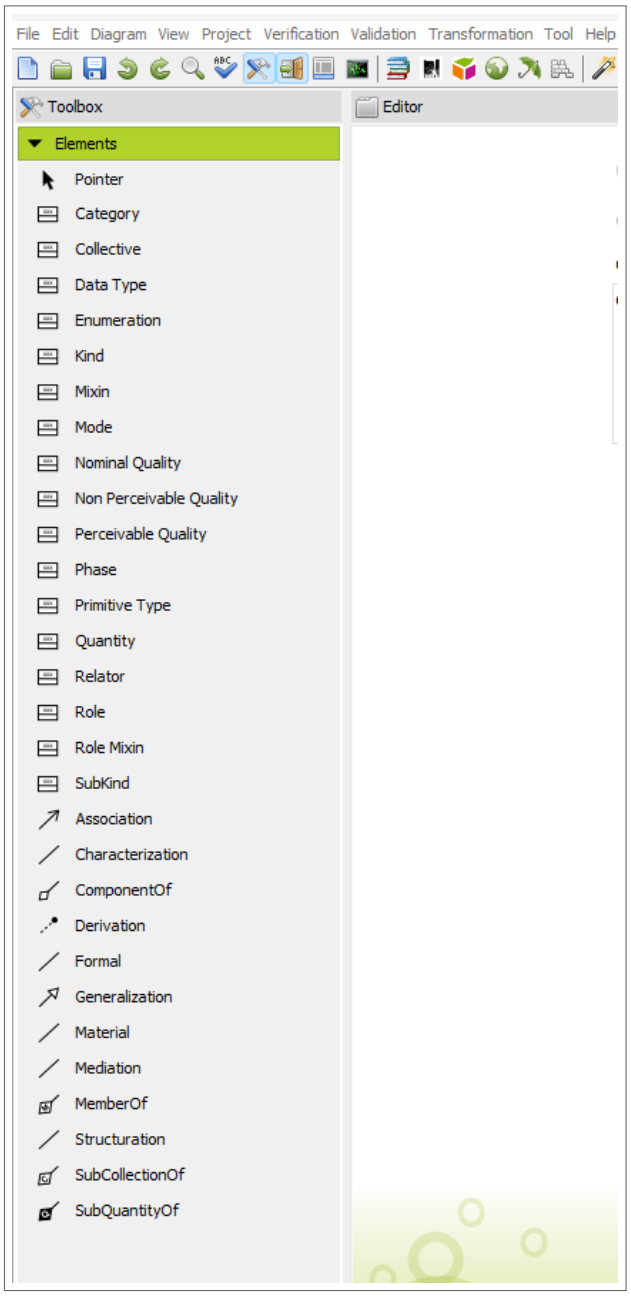
O teste seguinte consistiu na avaliação por um especialista, por meio de uma entrevista semiestruturada. Na primeira etapa da avaliação, o especialista procedeu à verificação do modelo conceitual, analisando os conceitos e relações a fim de identificar a necessidade de inserção/remoção ou ajuste dos elementos. Posteriormente, foi solicitado ao especialista que elaborasse novos estudos de caso e avaliasse se os resultados eram satisfatórios, fornecendo possíveis sugestões de melhorias.

6.1 CONSISTÊNCIA ONTOLÓGICA

A ferramenta OLED oferece diversas funcionalidades de suporte para a modelagem de modelos conceituais. Ela verifica a sintaxe e valida as relações entre elementos, detectando padrões e realizando simulações. Trata-se de uma ferramenta simples e intuitiva, ou seja, de fácil utilização, conforme ilustrado na Figura 14. No lado esquerdo da ferramenta, encontram-se os estereótipos e relações previamente apresentados. Para iniciar a modelagem, basta selecionar o estereótipo e renomeá-lo de acordo com o glossário construído. É necessário escolher o estereótipo de acordo com as características de cada conceito.

A modelagem da ontologia desenvolvida nesta ferramenta é bem fundamentada, sendo baseada na UFO e denominada OntoUML. As vantagens de utilizar essa ferramenta residem principalmente na simulação visual, permitindo a visualização dos erros apresentados no modelo e sugestões de correções, facilitando a correção imediata. Na Figura 15, pode-se observar um

Figura 14 – OLED (ontouml lights editor)



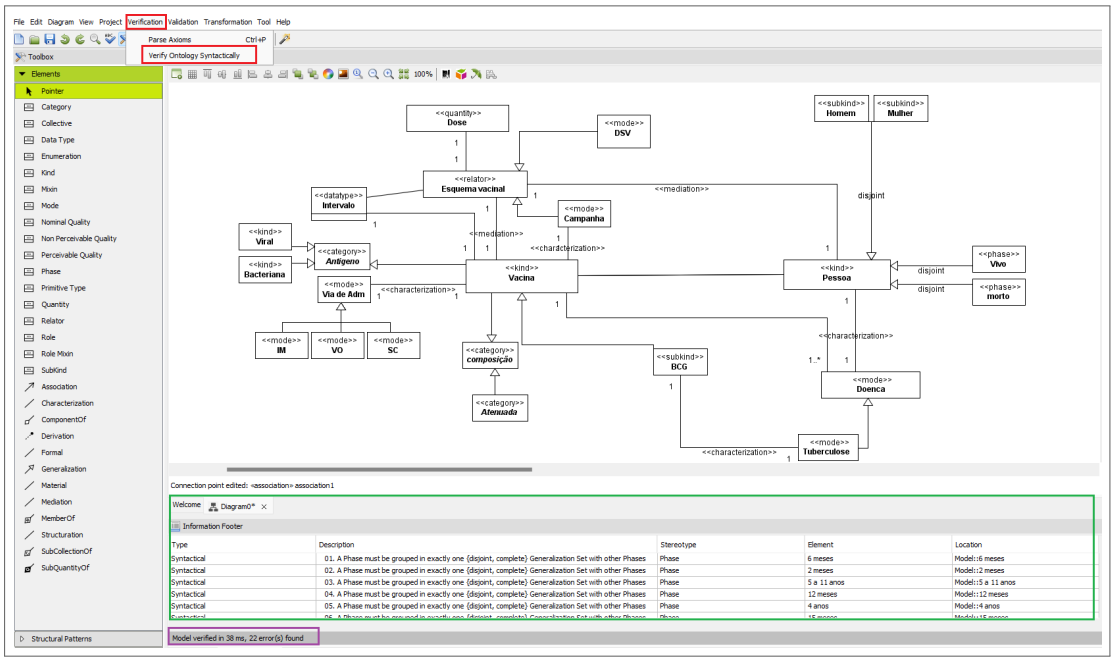
Fonte: Própria (2023)

exemplo de validação na ferramenta. Para ilustrar o exemplo, foi utilizada uma versão reduzida da IMUNO-ONTO para uma melhor visualização.

Para realizar a verificação, na barra superior, através da função *Verification*, é possível acionar o menu *Verify Ontology Syntactically*. No painel, na parte inferior da ferramenta, através do menu *Information Footer*, serão listadas as inconsistências do modelo, exibindo o tipo de erro, a descrição, o estereótipo, o elemento e a localização.

Além dos erros de sintaxe, é possível ocorrer a exclusão de relações e conceitos aparen-

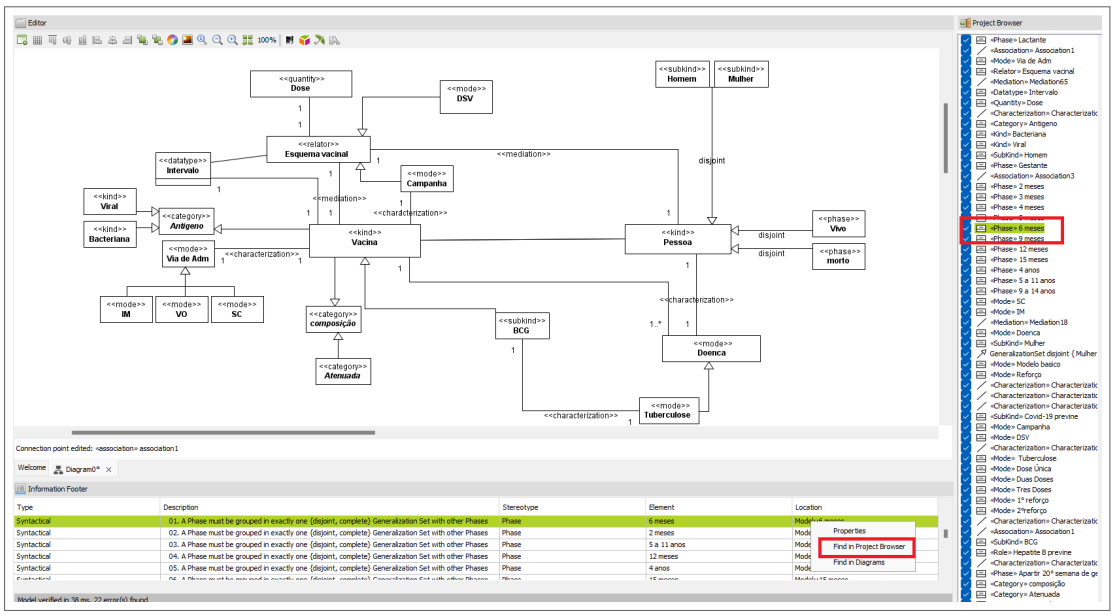
Figura 15 – Verificação de erros na ferramenta OLED (1)



Fonte: Própria (2023)

temente removidos do modelo. No entanto, esses elementos podem permanecer visíveis na barra lateral no *Projeto Browser*, conforme ilustrado na Figura 16. Nesse exemplo de erro, ao clicar com o botão direito do mouse sobre o erro e selecionar *Find in Project Browser*, a ferramenta irá indicar a localização desse elemento na ontologia. Nesse tipo de erro, basta excluir os conceitos e relações que não serão utilizados no modelo ontológico.

Figura 16 – Verificação de erros na ferramenta OLED (2)



Fonte: Própria (2023)

A ferramenta OLED proporciona uma modelagem eficiente de ontologias, utilizando suas funcionalidades de verificação para garantir a integridade do modelo, seguindo os estereótipos definidos na UFO. Assim, foi possível corrigir os erros de consistência durante a fase de modelagem da IMUNO-ONTO. Contudo, para validação, foi preciso realizar entrevistas com especialistas e a realização de estudos de casos.

6.2 ESTUDO DE CASO

Os estudos de caso foram elaborados utilizando nomes fictícios e representando situações diversas. No primeiro caso, ilustra-se a verificação da vacinação por idade, com o objetivo de consultar quais vacinas serão administradas de acordo com a faixa etária. No segundo estudo de caso, representa-se a consulta a um esquema vacinal incompleto.

6.2.1 Estudo de Caso: Verificação da Vacinação por Idade

Contexto: Felipe e Ana são os pais de Julia, uma bebê de 4 meses. Eles desejam conhecer o calendário de vacinação para crianças de 6 meses, incluindo as vacinas que Julia irá receber.

$$\langle 1 \rangle \frac{\left\{ \begin{array}{l} \mathsf{Pessoa(julia)} \\ \sqcap\ \mathsf{6meses(julia)} \end{array} \right\}}{\models (\mathsf{TerceiraDose.Penta} \sqcap \mathsf{TerceiraDose.VIP})}$$

De acordo com a situação e as informações inseridas, representando a Julia e a sua idade, acionando o raciocinador presente na ferramenta Protegé e o resultado retorna a ordem das doses e a vacina. Neste caso, Julia receberá a terceira dose da penta e VIP.

6.2.2 Estudo de Caso: Sem comprovação de vacinação

Contexto: Ana é uma menina encantadora, com apenas 6 anos de idade. Ela mora em uma localidade remota, distante de unidades de saúde e com acesso limitado a serviços médicos. Seus pais, preocupados com a saúde da filha, tomaram a iniciativa de levá-la à unidade de saúde mais próxima para receber as vacinas que protegem contra várias doenças.

Ao chegarem à unidade de saúde, a equipe revisou o histórico de vacinação de Ana. Infelizmente, observou-se que algumas das vacinas estavam atrasadas. Em particular, a vacinação

penta estava incompleta, sem comprovação de sua administração nas doses corretas. A vacina é administrada em três doses: a primeira aos 2 meses de idade, a segunda aos 4 meses e a terceira aos 6 meses. Essa vacina é essencial para garantir a imunidade da criança.

$$\langle 1 \rangle \frac{\left\{ \begin{array}{l} \mathsf{Pessoa(ana)} \sqcap \\ \mathsf{Menor7anos(ana)} \sqcap \mathsf{SemComprovaçãoPenta(ana)} \end{array} \right\}}{\models (\mathsf{IniciarEsquema.Penta})}$$

Neste caso, trata-se de um caso de onde a idade adequada definida no calendário vacinal não foi realizada, sendo necessário verificar as condições e possibilidades de vacinação. Neste caso, Ana, por ter 6 anos, ou seja, dentro da regra de menor de 7 anos sem comprovação da vacina penta, iniciará o esquema de vacina da penta.

Este estudo de caso exigiu a criação de novos subconceitos no conceito **DSV** (Dependendo da Situação Vacinal), ressaltando que este caso representa exceções em relação ao calendário padrão de vacinação, diferindo dos casos de exceção por alergias. Os conceitos e raciocínio no Protégé podem ser visualizados no Apêndice B.

6.3 AVALIAÇÃO DO ESPECIALISTA

Durante a entrevista, o especialista fez algumas observações relevantes. Foi identificada a ausência da via de administração intradérmica. Em relação às vacinas de rotina, foram destacadas duas condições: as vacinas de rotina do calendário básico e as vacinas de rotina especiais fornecidas pelo Centro de Referência de Imunobiológicos Especiais (CRIE). Como possibilidade de trabalhos futuros, é preciso identificar a qual calendário a vacina pertence, se é parte do calendário básico ou para uma condição especial.

Além da via de aplicação, seria interessante incluir um campo para o local de administração. Por exemplo, a vacina BCG é normalmente aplicada no braço direito por padrão. No entanto, se uma criança nasceu sem o braço direito, ela não deixará de ser vacinada. Também seria útil para casos de reação, onde o profissional pode suspeitar da vacina em questão. Por exemplo, se uma criança recebeu as vacinas Penta Valente e Pneumocócica 10, sendo que a Pneumocócica 10 foi aplicada no vasto lateral esquerdo e a Penta Valente no vasto lateral direito (apesar de não ser uma regra fixa). Se a mãe relatar que a criança dorme do lado esquerdo e prefere que as vacinas sejam administradas no lado direito devido à maior dor e reação, isso também pode ser registrado.

Durante a entrevista, também foram relatadas algumas situações relacionadas à atuação dos profissionais. Foi mencionado que os profissionais enfrentam desafios significativos em termos de interoperabilidade dos sistemas. Isso foi ilustrado, por exemplo, na gestão da pandemia de COVID-19, onde os profissionais tinham quatro ou cinco folhas eletrônicas distintas, cada uma apresentando informações e valores diferentes. Além disso, foi destacado que o Conecta SUS não estava integrado com o sistema web e tampouco com o Localiza SUS. Todos esses sistemas continham informações iguais, porém com dados diferentes.

De acordo com manual do Ministério da Saúde, a orientação é que os profissionais evitem o uso do cartão espelho. No entanto, durante o período da pandemia de COVID-19, o uso desse cartão foi crucial e acabou sendo uma solução eficaz para os profissionais que estavam na linha de frente. Isso se deve ao fato de que as informações sobre um paciente, quando registradas, muitas vezes eram perdidas ao longo do processo até chegarem à central. Isso criava problemas, especialmente ao administrar a segunda dose da vacina, pois as informações referentes à primeira dose estavam ausentes. Assim, os profissionais precisavam buscar essas informações nos registros físicos de forma rápida para garantir a continuidade do esquema de vacinação. Sendo ressaltado que existem vários esquemas de vacinação, além dos já conhecidos: criança, adolescente, adulto, gestante. Há também esquemas para profissionais e para viajantes.

Em relação aos usuários comuns, suas preocupações geralmente se concentram em verificar se o esquema de vacinação está completo e determinar qual vacina seria adequada com base em sua faixa etária.

Em relação aos profissionais da saúde, seriam informações referentes aos locais de administração e vias. Atualmente tem havido uma rotatividade de profissionais em salas de vacina sem os requisitos ideais para atuar. Assim, é essencial ter informações detalhadas disponíveis na sala de vacina, especialmente sobre exceções de administração no caso de atrasos.

Para estudantes na área da saúde, é crucial ter informações detalhadas sobre o esquema de vacinação. Isso inclui conhecer contra quais doenças cada vacina oferece proteção e situações de exceção que podem ocorrer.

Ao responder à última pergunta, baseou-se na necessidade dos profissionais atuantes. Neste caso, seria interessante poder compartilhar essas informações. Por exemplo, se uma pessoa nasceu em uma cidade e depois se mudou para outro estado, seria possível cruzar esses dados e ter acesso a eles?

Foi sugerido, neste caso, a criação de um sistema de caderneta de vacinação online que possa ser acessado de qualquer lugar, contendo informações sobre doses, locais de aplica-

ção, dados do lote da vacina e do vacinador. A interoperabilidade pode ser um desafio, pois uma pessoa pode ter sido vacinada recentemente, e seus dados podem ser perdidos ou não compartilhados entre unidades de saúde. Isso pode resultar em uma pessoa sendo vacinada novamente em um curto período, levando à superdosagem e ao desperdício de doses, especialmente quando o número de doses de vacina é limitado. Por exemplo, se nascem 200 crianças, chegam apenas 200 doses. O risco de superdosagem de imunização em uma pessoa específica é significativo e pode levar a reações vacinais, como reações alérgicas, reação de Arthus, síndrome de Guillain-Barré e outras reações que podem ocorrer devido à superdosagem.

6.4 ESTUDO DE CASO COM ESPECIALISTA

Em um segundo momento com o especialista, foram criados novos estudos de casos para validar o modelo ontológico.

6.4.1 Estudo de Caso: Caso da Hepatite

Uma criança de três anos e meio que nao tenha recebido a vacina de hepatite A.

$$\langle 1 \rangle \frac{\left\{ \begin{array}{l} \mathsf{Pessoa(criança)} \\ \sqcap \mathsf{MenorDe5anos(criança)} \sqcap \mathsf{SemComprovaçãoHepatiteA(criança)} \end{array} \right\}}{\models (\mathsf{RecebeUmaDose.dT})}$$

A vacina contra a hepatite A é idealmente administrada aos 15 meses de idade. No entanto, se a criança tiver menos de cinco anos, como no exemplo em que a criança tem 3 anos e meio, será iniciado o esquema da vacina dT.

6.4.2 Estudo de Caso: Caso do Agricultador com Amputação

Um agricultor chegou ao hospital após ter amputado três dedos e não possui histórico de vacinação com a vacina antitetânica.

$$\langle 1 \rangle \frac{\left\{ \begin{array}{l} \mathsf{Pessoa(agricultor)} \\ \sqcap \mathsf{Adulto(agricultor)} \sqcap \mathsf{SemComprovaçãoDt(agricultor)} \end{array} \right\}}{\models (\mathsf{IniciarEsquema.dT})}$$

De acordo com o calendário de vacinação para adultos, uma pessoa sem histórico de vacinação antitetânica deve iniciar o esquema da vacina dT, especialmente se apresentar um ferimento grave, como representado neste caso.

6.5 CONSIDERAÇÕES DA AVALIAÇÃO

O especialista avaliou os estudos de casos e enfatizou a precisão dos resultados, levando em consideração cada cenário. Ressaltou a importância da colaboração entre profissionais de tecnologia e da saúde, uma vez que estes últimos possuem vivência e enfrentam desafios específicos. Essas parcerias podem resultar em soluções que aprimoram e auxiliam na atuação dos profissionais. Expressou ainda satisfação pelo convite e disponibilidade para auxiliar e contribuir em futuros projetos.

O especialista pontuou as contribuições aplicáveis da pesquisa, visto que geralmente é comum identificar uma desconexão entre a tecnologia e a prática, resultando em soluções com falhas. Também salientou a necessidade de desenvolver soluções considerando a prática real da sala de vacinação, seguindo as diretrizes e práticas recomendadas, em vez de basear as soluções apenas em concepções individuais sobre o que é ideal. Durante a entrevista, por exemplo, foi mencionado que a ontologia pode ser ampliada para incluir os soros (imunização passiva).

Por fim, o especialista considerou de extrema importância a pesquisa, dada a complexidade e os desafios significativos enfrentados no ambiente da sala de vacinação. Expressou a esperança de que mais profissionais da área de tecnologia possam dedicar-se a compreender e solucionar os problemas enfrentados pelos profissionais de saúde em ambientes de vacinação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interoperabilidade nos sistemas voltados para a saúde é um fato incontestável, especialmente no contexto da atenção básica à saúde referente às unidades de vacinação. A falta de integração, por outro lado, gera diversos transtornos, especialmente onde os profissionais de saúde precisaram realizar mutirões de atendimentos e vacinação em todo o território brasileiro, como ocorreu na pandemia da COVID-19. Torna-se necessário buscar soluções que contribuam para a sociedade, dada a importância da vacinação e o acesso às informações relacionadas a elas. Isso é crucial para que as pessoas possam atualizar seus calendários de vacinação, seguindo de forma preferencial o calendário padrão e evitando vários riscos associados à ausência de vacinação.

Como explorado no presente estudo, o uso de ontologias para a modelagem de domínios traz benefícios significativos, especialmente quando se utiliza ontologias de domínio específicas, como no caso deste trabalho com a UFO. Essas ontologias auxiliam na melhor escolha dos estereótipos para os conceitos, alinhando-os às características inerentes a cada conceito. Além disso, proporcionam a vantagem de unir e combinar ontologias distintas que possuam a mesma estrutura.

A abordagem Methontology foi empregada para guiar cada etapa da construção da IMUNO-ONTO de maneira organizada, assegurando o melhor resultado final. Por sua vez, a ferramenta OLED, por sua natureza intuitiva, subsidiou a verificação da semântica e contribuiu para garantir que o modelo conceitual esteja alinhado com a estrutura da UFO. Ela também facilitou a identificação e correção mais ágeis de erros.

No âmbito da ferramenta Protegé, encontram-se estruturas robustas que permitiu implementar um modelo de ontologia de forma sólida, permitindo ainda a inserção de axiomas e a realização de testes de caso para verificar a adequada estruturação da ontologia. Outro benefício do uso dessas ferramentas residiu na possibilidade de efetuar modificações no modelo de ontologia, sendo viável implementá-las em ambas as ferramentas simultaneamente, sem comprometer a sua consistência. Ainda, diferentemente dos trabalhos relacionados apresentados, temos um modelo alicerçado em um ontologia superior e voltado ao contexto nacional.

7.1 CONTRIBUÇÕES DA PESQUISA

Como **contribuições científicas** destacamos a exploração dos limites e potencialidades do uso de uma lógica descritiva ao modelar as nuances do sistema imuno-biológicos no contexto de vacinas. Neste ponto, destacamos: (i) o modelo conceitual produzido, que poderá ser utilizado e reutilizado por diferentes profissionais em distintos contextos, e (ii) a implementação do modelo em uma lógica descritiva que pode permitir realizar inferências para tomadas de decisão e realizar consultas a partir da base de conhecimento formalizada. Ainda como **contribuição científica** desta pesquisa, foi produzido um artigo intitulado **IMUNO-ONTO: Um Modelo Ontológico Baseado na UFO para o Domínio Imunobiológico**, o qual foi publicado no evento da ONTOBRAS em 2022. O modelo ontológico também foi solicitado para integrar o **Catalog for Ontology-Driven Conceptual Modeling Research**.

O presente estudo traz como **Contribuições Sociais** soluções que contribuem para melhorar a qualidade de vida dos profissionais de saúde. Adicionamente, tendo em vista o avanço dos recursos tecnológicos, os profissionais de saúde que ainda utilizam recursos de documentação em papel, enxergam a possibilidade de oferecer um melhor atendimento de forma eficiente para a população. Destacamos ainda que trabalhar na busca de sistemas que compartilhem, explicitem e formalizem informações é essencial e uma questão de saúde pública, uma vez que a ausência de registros de vacinação pode acarretar danos físicos à saúde das pessoas que podem sofrer com altas dosagens.

Por fim, salientem-se que os estudos referentes aos imunobiológicos são complexos, considerando o grande volume de informações e a falta de divulgação de outras. Além disso, mudanças no calendário vacinal, realizadas com o intuito de atender necessidades da população, afetam o conhecimento da população em geral. Portanto, os resultados produzidos neste estudo contribui com a formalização e, potencialmente, com a publicização do conhecimento. Isto porque a Ontologia proposta foi desenvolvida de forma a escalar com a acquisição de novas informações. O modelo ontológico IMUNO-ONTO, implementado nas ferramentas OLED e Protegé, está disponível no repositório do GitHub[1].

[1] https://github.com/RenayBarbosa/Ontologia$_IMUNO-ONTO.git$

7.2 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Como limitações da pesquisa, detacamos que o projeto não pôde explorar algumas exceções no contexto de vacinas. Neste caso, a lógica tradicional clássica não é a mais intuitiva. Tais exceções visam acomadar situações onde alergias podem impactar a inferências de vacinas para um novo esquema vacinal.

Para trabalhos futuros, considerando uma análise do SNOMED CT que destaca a ambiguidade semântica de muitas classes na hierarquia de doenças, conclui-se que, com base nessa análise, é recomendável, para análises futuras, revisar o uso da nomenclatura Doença como um conceito de classe, assim como os demais conceitos (SCHULZ et al., 2011). Tendo ciência de que, no domínio biomédico, as ontologias mais representativas fazem uso da Basic Formal Ontology (BFO), fica também como perspectiva para trabalhos futuros a realização de pesquisas relacionadas a esses modelos ontológicos e possíveis comparações entre o uso da BFO e da UFO.

Considera-se a modificação da IMUNO-ONTO para atender de maneira abrangente às necessidades apontadas pela especialista. Ainda neste contexto, explorar uma lógica descritiva preferencial ou outra estratégia para acomodação de exceções também é uma possível continuação da pesquisa. Além disso, propõe-se o desenvolvimento de uma interface para facilitar o acesso, uso e consulta à ontologia produzida.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, I. M. D. Ontologia do serviço de referência em unidades de documentação. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58048>.

ARAúJO, W. J.; LIMA, G. A. de. Em busca de uma metodologia para enriquecimento de ontologias de domínio. *Múltiplos Olhares em Ciência da Informação*, v. 9, n. 2, 2019.

BAADER, F.; CALVANESE, D.; MCGUINNESS, D.; PATEL-SCHNEIDER, P.; NARDI, D. *The description logic handbook: Theory, implementation and applications*. [S.l.]: Cambridge university press, 2007.

BEZERRA, B. de A. Informação e desinformação na saúde pública-o contexto das vacinas. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, v. 3, n. 5, p. e351424–e351424, 2022.

BRITZ, K.; MEYER, T.; VARZINCZAK, I. Semantic foundation for preferential description logics. In: SPRINGER. *Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence*. [S.l.], 2011. p. 491–500.

DEGBELO, A. A snapshot of ontology evaluation criteria and strategies. *Proceedings of the 13th International Conference on Semantic Systems*, p. 1–8, 2017.

DOMINGUES, C. M. A. S.; FANTINATO, F. F. S. T.; DUARTE, E.; GARCIA, L. P. Vacina brasil e estratégias de formação e desenvolvimento em imunizações. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, SciELO Brasil, v. 28, 2019.

FARINELLI, F.; SOUZA, A. D. Ontologias de alto nível: porque precisamos e como usar. *Fronteiras da Representação do Conhecimento*, v. 1, n. 1, p. 174–202, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/fronteiras-rc/article/view/35785>.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; JURISTO, N. Methontology: from ontological art towards ontological engineering. American Asociation for Artificial Intelligence, 1997.

FILHO, J. J. V. *Um modelo adaptativo de objetos para modelos conceituais baseados em UFO*. 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/40937>. Acesso em: 15 out. 2022.

FILHO, J. J. V. *Um modelo adaptativo de objetos para modelos conceituais baseados em UFO*. 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/40937>.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. [S.l.]: Atlas São Paulo, 2002. v. 4.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. [S.l.]: Atlas São Paulo, 2017. v. 6.

GOMES, P. A. L.; LONCAROVICH, K. d. P. AnÁlise da lÓgica descritiva como recurso informacional: Um exemplo de aplicaÇÃo na cardiologia. RECIIS – R. Eletr. de Com. Inf. Inov. Saúde. Rio de Janeiro, v. 5, p. 108–120, 2011.

GUARNIER, T. S.; TEIXEIRA, M. d. G. da S.; REIS, D. dos; COSTA, C.; RISSINO, S. das D. Um modelo conceitual baseado em ontologia para doenças infecciosas com ênfase em tuberculose. *XIII Seminário de Pesquisa em Ontologias no Brasil, ONTOBRAS*, 2020. Disponível em: <https://ceur-ws.org/Vol-2728/short5.pdf>.

GUIZZARDI, G. *Ontological foundations for structural conceptual models*. 2015. Disponível em: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/6042428/thesis_Guizzardi.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

GUIZZARDI, G.; FALBO, R.; GUIZZARDI, R. S. A importância de ontologias de fundamentação para a engenharia de ontologias de domínio: o caso do domínio de processos de software. *IEEE Latin America Transactions*, v. 6, n. 3, 2008.

HE, Y.; COWELL, L.; DIEHL, A.; MOBLEY, H.; PETERS, B.; RUTTENBERG, A.; SCHEUERMANN, R.; BRINKMAN, R.; COURTOT, M.; MUNGALL, C. Vo: vaccine ontology in: The 1st international conference on biomedical ontology (icbo 2009). *Nature Precedings, Buffalo*, v. 10, 2009.

HINZ, V. T. Proposta de criação de uma ontologia de ontologias. 2006. Disponível em: <http://ppginf.ucpel.tche.br/TI-arquivos/2006/VerlaniHinz/PPGINF-UCPel-TI-2006-2-10.pdf>.

JÚNIOR, L. d. A. M. A estratégia de saúde digital para o brasil 2020-2028. *Journal of Health Informatics*, v. 13, n. 1, 2021.

KOIVUNEN, M.-R.; MILLER, E. *W3C Semantic Web Activity*. 2001. Disponível em: <https://www.w3.org/2001/12/semweb-fin/w3csw>.

MATTOS, M. C. de. A metodologia methontology na construção de ontologias. *Revista de Iniciação Científica*, v. 5, n. 1, 2007.

MENDONCA, F. M. *UONTOFORINFOSCIENCE: METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DE ONTOLOGIAS PELOS CIENTISTAS DA INFORMAÇÃO Uma aplicação prática no desenvolvimento da ontologia sobre componentes do sangue humano (HEMONTO)*. 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-A35H3K>.

MENDONÇA, F. M.; CASTRO, L. P. de; SOUZA, J. F. de; ALMEIDA, M. B.; FELIPE, E. R. *Onto4AllEditor: um Editor Web Gráfico de Ontologias Direcionado a Diferentes Tipos de Desenvolvedores de Ontologias*. 2020. Disponível em: <https://ceur-ws.org/Vol-2728/paper8.pdf>.

MORAIS, E. A. M.; AMBRÓSIO, A. P. L. Ontologias: conceitos, usos, tipos, metodologias, ferramentas e linguagens. *Relatório Técnico–RT-INF-001/07, dez*, 2007. Disponível em: <https://ww2.inf.ufg.br/sites/default/files/uploads/relatorios-tecnicos/RT-INF_001-07.pdf>.

OLIVEIRA, I. S. D. *o relacionamento entre sociedade em rede e estratégia de operações: uma proposta baseada em engengharia ontológica*. 2006. Disponível em: <https://archivum.grupomarista.org.br/pergamumweb/vinculos/tede/iracippgeps.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2022.

ONG, E.; SUN, P.; BERKE, K.; ZHENG, J.; WU, G.; HE, Y. Vio: ontology classification and study of vaccine responses given various experimental and analytical conditions. *BMC bioinformatics*, BioMed Central, v. 20, n. 21, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31865910/>.

ONTOUML. *ferramentas OLED (editor leve OntoUML)*. 2013. Disponível em: <https://ontouml.org/ontouml/tooling/>. Acesso em: 15 Dez. 2022.

PARMEJANI, P. d. S. S.; PICONE, C. d. M.; ALVES, A. P. P. d. S.; SARTORI, A. M. C.; IBRAHIM, K. Y. Facilitando o acesso à vacina pneumocócica para pessoas vivendo com hiv: relato de experiência. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, SciELO Brasil, v. 56, 2023.

PASINI, R. *Estudo e projeto de uma ontologia para a área da saúde*. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1268/TCC%20Rodrigo%20Pasini.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 out. 2022.

PERES, K. C.; BUENDGENS, F. B.; PRATES, E. A.; BONETTI, N. R.; SOARES, L.; VARGAS-PELÁEZ, C. M.; FARIAS, M. R. Vacinas no brasil: análise histórica do registro sanitário e a disponibilização no sistema de saúde. *Ciência e Saúde Coletiva*, SciELO Brasil, v. 26, 2021.

RACHID, R.; FORNAZIN, M.; CASTRO, L.; GONçALVES, L. H.; PENTEADO, B. E. Saúde digital e a plataformização do estado brasileiro. *Ciência Saúde Coletiva*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232023287.14302022>.

RAMALHO, R. A. S.; VIDOTTI, S. A. B. G.; FUJITA, M. S. L. Web semântica: uma investigação sob o olhar da ciência da informação. *DataGramaZero: Revista de Ciência da Informação*, v. 8, n. 6, p. 1–18, 2007. Disponível em: <http://www.dgz.org.br/dez07/Art_04.htm>.

RODRIGUES, C. M. de O. *UMA ABORDAGEM ONTOLÓGICA PARA SIMULAÇÃO DE AÇÃO LEGAL E CONSISTÊNCIA SEMÂNTICA APLICADA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA*. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/33904/1/TESE%20Cleyton%20M%C3%A1rio%20de%20Oliveira%20Rodrigues.pdf>.

SANTOS, B. S. dos; ADAMATTI, D. F.; BILLA, C. Z. evacinas: protótipo de um sistema de vacinação centrado no usuário. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, v. 14, n. 2, p. 35–46, 2022. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/rbca/article/view/12576/114116587>.

SAúDE, M. da. Calendário nacional de vacinação. *gov.br*, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/c/calendario-nacional-de-vacinacao>.

SCHULZ, S.; SPACKMAN, K.; JAMES, A.; COCOS, C.; BOEKER, M. Scalable representations of diseases in biomedical ontologies. In: BIOMED CENTRAL. *Journal of Biomedical Semantics*. [S.l.], 2011. v. 2, n. 2, p. 1–13.

SEGUNDO, J. E. S. Web semântica: fluxo para publicação de dados abertos e ligados. Revista Informação em Pauta, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/38096>.

SILVA, B. S.; SOUZA, K. C. d.; SOUZA, R. G. d.; RODRIGUES, S. B.; OLIVEIRA, V. C. d.; GUIMARÃES, E. A. d. A. Condições de estrutura e processo na implantação do sistema de informação de imunização do brasil. *Revista Brasileira de Enfermagem*, SciELO Brasil, v. 73, 2020.

SILVA, M. F.; MARTINS, D. L.; SIQUEIRA, J. Web semântica em repositórios: ontologia para representação de bibliotecas digitais. *iência da Informação em Revista*, v. 6, n. 1, p. 99–113, 2019. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/cir/article/view/5566>.

STUDER, R.; BENJAMINS, V.; FENSEL, D. Knowledge engineering: Principles and methods. *Data Knowledge Engineering*, SciELO Brasil, v. 25, 1998.

SUCHÁNEK, M. *OntoUML specification Documentation*. 2022. Disponível em: <https://ontouml.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/>. Acesso em: 11 ago. 2023.

TEIXEIRA, L. M. D. Ontologias, ciência da informação e sistemas de informação em saúde: articulações a partir de uma revisão sistemática. *Fronteiras da Representação do Conhecimento*, v. 1, n. 1, p. 51–72, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/fronteiras-rc/article/view/35285/28559>.

TEIXEIRA, L. M. D.; ALMEIDA, M. B.; EMYGDIO, J. L.; MOREIRA, C.; MODESTO, M. L. Conhecimento especializado no domínio da energia eletrica: estudo de caso sobre a aquisiçao do conhecimento para ontologia. *Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, Universidade Federal de Santa Catarina, v. 26, 2021.

VIDOTTI, S. A. B. G.; CONEGLIAN, C. S.; ROA-MARTÍNEZ, S. M.; VECHIATO, F. L.; SEGUNDO, J. E. S. Web, web semÂntica e web pragmÁtica: um posicionamento da arquitetura da informação. *Informação & Sociedade*, Informação Sociedade, v. 29, n. 1, p. 1995–2014, 2019. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/a28862bbb2e2181a4a2411e452032a0f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2030753>.

W ABEYSINGHE R, H. Y. T. C. M.; L., C. Identification of missing hierarchical relations in the vaccine ontology using acquired term pairs. *Journal of Biomedical Semantics*, Springer, v. 13, n. 1, p. 22, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35964149/>.

APÊNDICE A – GLOSSÁRIO

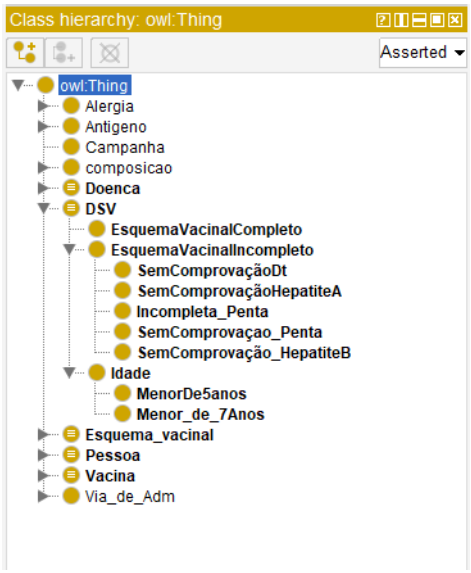
Nome	Descrição	Tipo
Vacina	Conceito ligado aos imunizantes que fazem parte do calendário de vacinação	Conceito
Pessoa	Pessoa é um indivíduo em qualquer faixa etária	Conceito
Doença	Representa as doenças prevenidas com as vacinas	Conceito
Campanha	Contém as vacinas de campanhas	Conceito
Esquema vacinal	Esquema das vacinas de acordo com o calendário	Conceito
intervalo	Contém os intervalos ideais entre as vacinas, intervalos mínimos	Conceito
Doses	Distingui o modelo básico de vacinação e as doses de reforço	Conceito
Modelo basico	Contém as doses de vacinas	Conceito
Dose Única	Número de doses	Conceito
Duas Doses	Número de doses	Conceito
Três Doses	Número de doses	Conceito
Reforço	Quantidade de doses de vacinas	Conceito
1°reforço	Número de doses	Conceito
2°reforço	Número de doses	Conceito
DSV	Situações que dependem do status vacinal	Conceito
composição	Composição da vacina referente ao antígeno	Conceito
Atenuada	Forma como o antígeno se encontra na vacina	Conceito
Inativa	Forma como o antígeno se encontra na vacina	Conceito
Recombinante	Forma como o antígeno se encontra na vacina	Conceito
Intervalo	Tempo de espaçamento entre as doses	Conceito
Conjugada	Forma como o antígeno se encontra na vacina	Conceito
Antígeno	Agentes que reagem com anticorpos referente a cada vacina	Conceito
Viral	Tipo de antígeno	Conceito
Bacteriana	Tipo de antígeno	Conceito
IM	Via de aplicação da vacina	Conceito
SC	Via de aplicação da vacina	Conceito
VO	Via de aplicação da vacina	Conceito
BCG	Vacina	Conceito
Hepatite B	Vacina	Conceito
VIP	Vacina	Conceito
VOP	Vacina	Conceito
VOP	Vacina	Conceito
Penta	Vacina	Conceito
VRH	Vacina	Conceito
VOP	Vacina	Conceito
Pneumocócica 10	Vacina	Conceito
Febre Amarela	Vacina	Conceito
Meningocócica C	Vacina	Conceito
VOP	Vacina	Conceito
Meningocócica C	Vacina	Conceito
SCR	Vacina	Conceito
SCRV	Vacina	Conceito
DTP	Vacina	Conceito

dT	Vacina	Conceito
Pneumocócica 23	Vacina	Conceito
Varicela	Vacina	Conceito
Meningocócica ACWY	Vacina	Conceito
Influenza	Vacina	Conceito
HPV	Vacina	Conceito
Viva	Fase da vida de uma pessoa	Conceito
Morta	Fase da vida de uma pessoa	Conceito
Criança	Fase da vida de uma pessoa	Conceito
Adolescente	Fase da vida de uma pessoa	Conceito
Adulto	Fase da vida de uma pessoa	Conceito
Idoso	Fase da vida de uma pessoa	Conceito
Ao nascer	Faixa etária de criança	Conceito
2° meses	Faixa etária de criança	Conceito
3° meses	Faixa etária de criança	Conceito
4° meses	Faixa etária de criança	Conceito
5° meses	Faixa etária de criança	Conceito
6° meses	Faixa etária de criança	Conceito
9° meses	Faixa etária de criança	Conceito
12° meses	Faixa etária de criança	Conceito
15° meses	Faixa etária de criança	Conceito
4 anos	Faixa etária de criança	Conceito
5 a 11 anos	Faixa etária de criança	Conceito
9 a 14 anos	Faixa etária	Conceito
11 a 12 anos	Faixa etária de adolescente	Conceito
11 a 14 anos	Faixa etária de adolescente	Conceito
12 a 17 anos	Faixa etária de adolescente	Conceito
11 anos a 19 anos	Faixa etária de adolescente	Conceito
18 a 59 anos	Faixa etária de adulto	Conceito
20 a 59 anos	Faixa etária de adulto	Conceito
Homem	indivíduo	Conceito
Mulher	indivíduo	Conceito
lactante	Pessoa que amamenta	Conceito
Gestante	Período de desenvolvimento durante o transporte de um embrião	Conceito
20ª semana de gestação	tempo de gestação	Conceito
Tuberculose	Enfermidade/doença	Conceito
Poliomelite	Enfermidade/doença	Conceito
Hepatite B	Enfermidade/doença	Conceito
Diarreia por Rotavírus	Enfermidade/doença	Conceito
Tetano	Enfermidade/doença	Conceito
Coqueluche	Enfermidade/doença	Conceito
Haemophilus influenzae B	Enfermidade/doença	Conceito
Pneumonias	Enfermidade/doença	Conceito
Meningites	Enfermidade/doença	Conceito
Otites	Enfermidade/doença	Conceito
Sinusites	Enfermidade/doença	Conceito
Meningite Meningocócica C	Enfermidade/doença	Conceito
Sarampo	Enfermidade/doença	Conceito

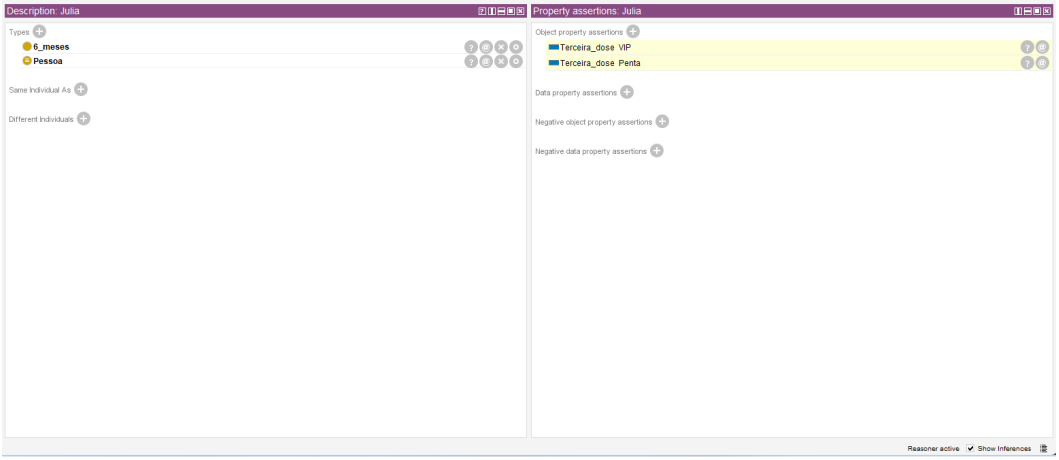
Caxumba	Enfermidade/doença	Conceito
Rubéola	Enfermidade/doença	Conceito
Varicela	Enfermidade/doença	Conceito
Hepatite A	Enfermidade/doença	Conceito
Papilomavírus Humano (6, 11, 16 e 18)	Enfermidade/doença	Conceito
Meningites Bacterianas	Enfermidade/doença	Conceito
Influenza	Enfermidade/doença	Conceito
Meningite Meningocócica Tipo ACWY	Enfermidade/doença	Conceito
Segue	Uma pessoa segue um esquema vacinal	Relação
Esquema	Esquema vacinal possui **esquema** de Doses	Relação
Aplicada_em	vacinas são aplicadas em pessoas	Relação
Tempo_de	Toda vacina tem tempo de intervalo entre as doses	Relação
Faz_parte	Vacina faz parte do esquema vacinal	Relação
Previne	vacina previne doença	Relação
Depende	DSV depende de esquema vacinal	Relação
Enfermidade	Referente a doença	Relação
Tem	vacina tem antigeno	Relação
RecebeVacina	Quando a vacina tem apenas uma dose	Relação
Primeira_dose	Referente a ordem de vacina	Relação
Segunda_dose	Referente a ordem de vacina	Relação
Terceira_dose	Referente a ordem de vacina	Relação
Menor_de_7anos	Pessoa com menos de 7 anos	Conceito
Primeiro_reforco	Referente a ordem de vacina	Relação
Segundo_reforco	Referente a ordem de vacina	Relação
SemComprovaçaoPenta	Exceção que ocorre no conceito DSV	Relação
IniciarEsquema	Quando não tem comprovação de vacinação	Relação

APÊNDICE B – ONTOLOGIA NO PROTEGÉ

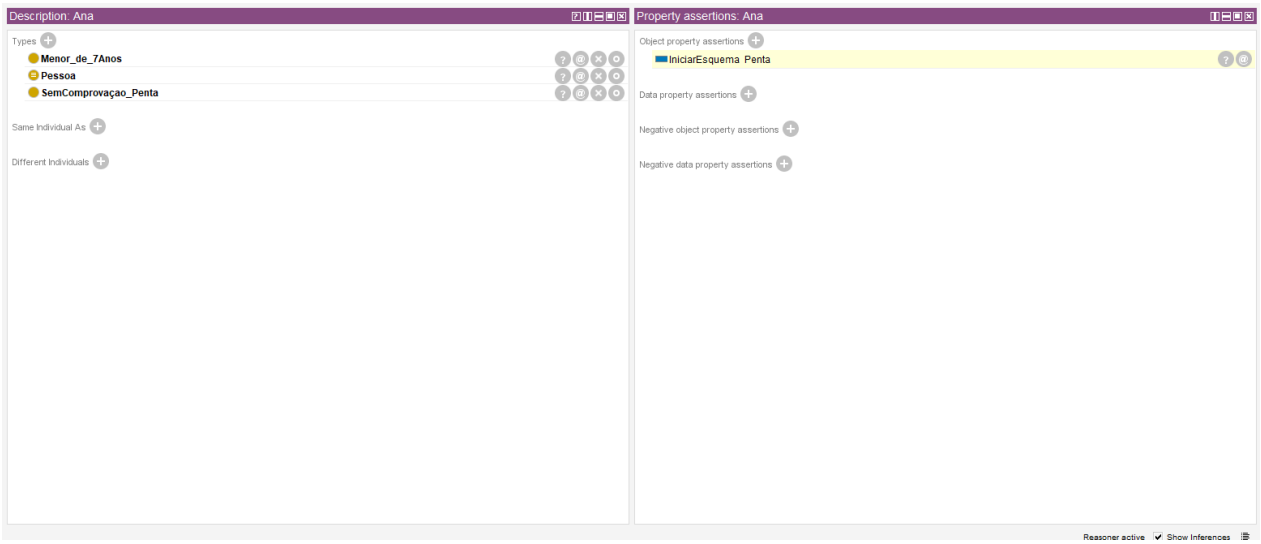
SubConceito de DSV



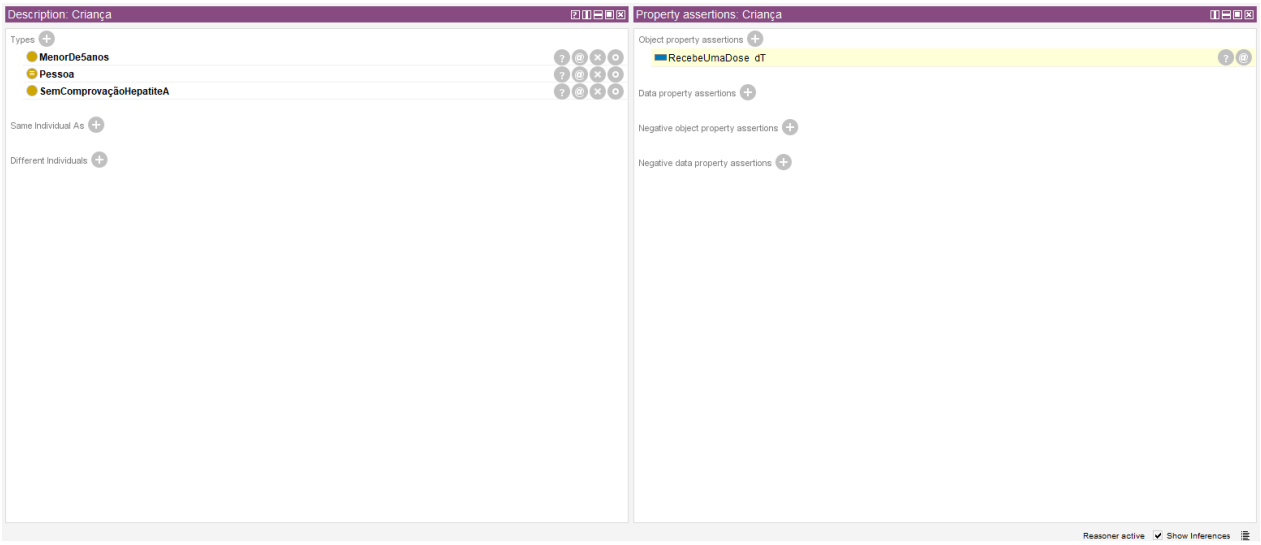
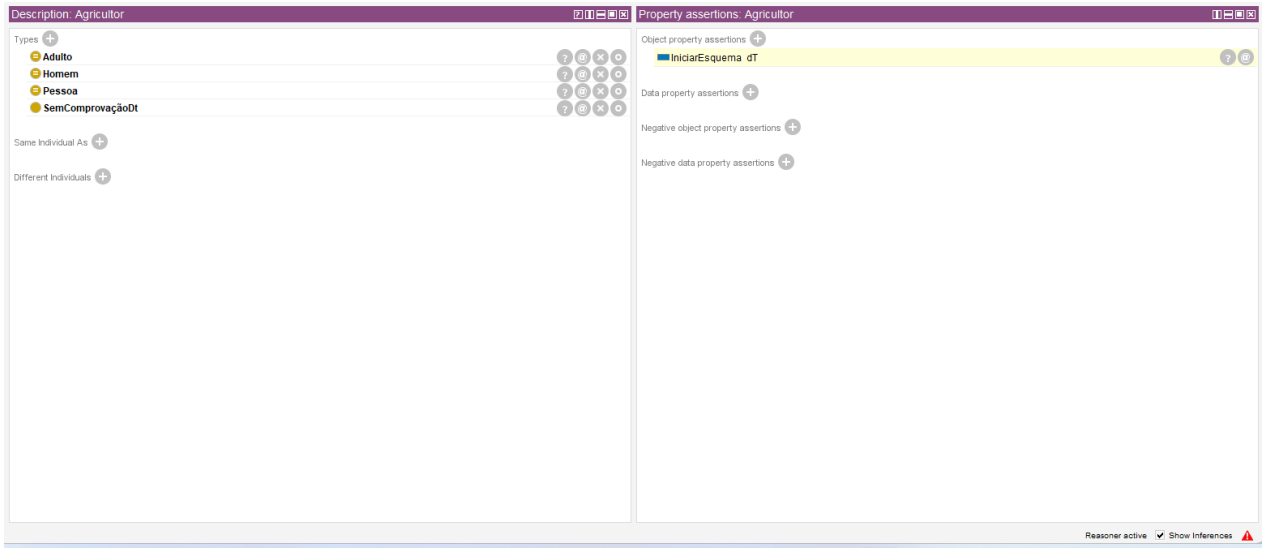
Estudo de Caso: Verificação da Vacinação por Idade



Estudo de Caso: Sem comprovação de vacinação



Estudo de Caso: Caso da Hepatite



Estudo de Caso: Caso do Agricultador com Amputação