

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FastMain:
Uma Abordagem Baseada em Ontologia para a
Melhora do *Lead Time* da Manutenção de
Componentes Eletrônicos de Máquinas Pesadas

Luiza Bartels de Oliveira

JUIZ DE FORA
MARÇO, 2024

FastMain:
Uma Abordagem Baseada em Ontologia para a
Melhora do *Lead Time* da Manutenção de
Componentes Eletrônicos de Máquinas Pesadas

LUIZA BARTELS DE OLIVEIRA

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Pós-Graduação em Ciência da Computação
Mestrado em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Doutor Mário Antônio Ribeiro Dantas
Coorientador: Prof. Doutor Marco Antônio Pereira Araújo

JUIZ DE FORA
MARÇO, 2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Bartels de Oliveira, Luiza.

FastMain : Uma Abordagem Baseada em Ontologia para a Melhora do Lead Time da Manutenção de Componentes Eletrônicos de Máquinas Pesadas / Luiza Bartels de Oliveira. -- 2024.

129 p. : il.

Orientadora: Mário Antônio Ribeiro Dantas

Coorientadora: Marco Antônio Pereira Araújo

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2024.

1. Ciência Aplicada. 2. Ontologia. 3. Gestão do Conhecimento. I. Ribeiro Dantas, Mário Antônio, orient. II. Pereira Araújo, Marco Antônio, coorient. III. Título.

Luiza Bartels de Oliveira

FastMain: Uma Abordagem Baseada em Ontologia para a Melhora do Lead Time da Manutenção de Componentes Eletrônicos de Máquinas Pesadas

Dissertação
apresentada
ao Programa de Pós-
graduação em
Ciência da
Computação,
da Universidade
Federal de Juiz de
Fora como requisito
parcial à obtenção do
título de Mestre em
Ciência da
Computação. Área de
concentração: Ciência
da Computação.

Aprovada em 27 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mario Antonio Ribeiro Dantas - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marco Antonio Pereira Araújo - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Victor Ströele de Andrade Menezes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^a. Dra. Patrícia Della Mea Plentz
Universidade Federal de Santa Catarina

Juiz de Fora, 12/03/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Mario Antonio Ribeiro Dantas, Professor(a)**, em 27/03/2024, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marco Antonio Pereira Araujo, Professor(a)**, em 27/03/2024, às 14:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiza Bartels de Oliveira, Usuário Externo**, em 27/03/2024, às 14:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Victor Stroele de Andrade Menezes, Professor(a)**, em 27/03/2024, às 15:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patricia Della Méa Plentz, Usuário Externo**, em 18/06/2024, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1747009** e o código CRC **D9F63D31**.

Agradecimentos

Tenho uma gratidão imensa a Hanna Guimarães Santos, que me inspirou a buscar uma vaga no programa de mestrado. Uma vez admitida, ela esteve ao meu lado durante todos os desafios, todos altos e baixos que só um programa de mestrado pode proporcionar. Em muitos momentos foi a âncora que me impediu de desistir. Cada uma dessas mais de 100 páginas são em agradecimento a ela.

Agradeço a Deus que, com toda a sua glória, me mostrou que o que é dedicado a nós não obedece às ciências exatas, nem às estatísticas. Desta forma, dou as boas-vindas ao meu tão esperado filho Martin.

Aos integrantes do laboratório de eletrônica. Sem vocês, este trabalho não existiria. Obrigada por todo o suporte, ideias e paciência comigo. Continuem sendo excelentes no que fazem!

Ao professor Marco Antônio Pereira Araújo, que tem a maior parcela da responsabilidade por eu estar vivenciando este momento. Ele foi o responsável por despertar meu interesse por *software* lá em 2012 e por me incentivar a ingressar no programa de mestrado. Sua orientação precisa foi inestimável.

Ao professor Mário Antônio Ribeiro Dantas, gostaria de expressar minha gratidão por sua participação durante o processo de dissertação. Apesar dos desafios encontrados, valorizo o tempo e a disponibilidade que dedicou a este projeto.

Aos demais membros da banca por também me ajudarem nesta caminhada.

*“Sou como a haste fina, que qualquer brisa
verga mas nenhuma espada corta. Não
mexe comigo, que eu não ando só.”*

Maria Bethânia (Carta de Amor)

Resumo

A organização inadequada de dados dentro de uma empresa pode resultar em diminuição da eficiência, aumento de custos e prazos de entrega prolongados. Isso é especialmente evidente no laboratório de manutenção eletrônica de uma empresa do setor de extração mineral, onde dados desorganizados impactam negativamente a eficiência na entrega de seus serviços. Este trabalho concentra-se no desafio de organizar o conhecimento disperso, muitas vezes tácito, entre alguns funcionários e seus relatórios de manutenção negligenciados. Após o desenvolvimento de uma ontologia específica do domínio, o passo subsequente envolveu a criação de uma ferramenta protótipa nomeada de FastMain, com o objetivo de reduzir significativamente o tempo de execução para serviços de manutenção. Os resultados indicam que o artefato ontológico desenvolvido realmente representa o domínio do laboratório de eletrônica, e o uso da FastMain alcançou uma redução média de 17% no tempo de execução da manutenção. A implementação também antecipa benefícios substanciais, não apenas na redução do tempo de manutenção de componentes, mas também na mitigação do processo dispendioso de contratação e treinamento de novos funcionários. Com a FastMain, novos funcionários podem acessar facilmente informações de manutenção por meio de pesquisas de solução de problemas, permitindo que os trabalhadores experientes intervenham apenas quando necessário. Essa abordagem acelera o processo de aprendizado para novos funcionários e reduz a carga de trabalho dos trabalhadores experientes, permitindo que se concentrem mais em suas responsabilidades principais.

Palavras-chave: Ciência aplicada, ontologia, gestão do conhecimento.

Abstract

Inadequate data organization within a company can lead to decreased efficiency, increased costs, and extended delivery times. This is particularly evident in the internal electronic maintenance laboratory of a mining company, where disorganized data obstructs the conversion of information into actionable knowledge, negatively impacting delivery efficiency. This work focuses on the challenge of organizing dispersed, often tacit knowledge among a few employees and their neglected reports from the maintenance laboratory. Following the development of a specific domain ontology, the subsequent step involved creating a prototype system called FastMain, with the aim of significantly reducing the execution time for maintenance services. Results indicate that the ontological artifact developed indeed represents the electronics laboratory's domain and the use of the FastMain achieved an average 17% reduction in maintenance lead time. The implementation also anticipates substantial benefits, not only in reducing component maintenance time but also in alleviating the costly process of hiring and training new employees. With FastMain, new employees can easily access maintenance information through troubleshooting searches, allowing experienced workers to intervene only when necessary. This approach expedites the learning process for new employees and diminishes the workload of experienced workers, enabling them to concentrate more on core responsibilities.

Keywords: Applied science, ontology, knowledge management.

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	9
Lista de Abreviaturas e Siglas	10
1 Introdução	11
1.1 Motivação	13
1.2 Problema	14
1.3 Enfoque da Solução	14
1.4 Objetivo	14
1.5 Frutos Deste Estudo	15
1.6 Organização da Dissertação	15
2 Referencial Teórico	17
2.1 Indústria de Extração de Minerais	17
2.2 Equipamentos Pesados	19
2.3 Gestão do Conhecimento	21
2.3.1 ISO/IEC 21838	24
2.4 Ontologia	25
2.4.1 Metodologias de Construção de Artefatos Ontológicos	27
2.4.2 Ontologias de Fundamentação	28
2.4.3 Protégé	30
2.4.4 OntoUML	31
2.5 Considerações Finais do Capítulo	31
3 Mapeamento Sistemático da Literatura	33
3.1 Planejamento	33
3.2 Condução	35
3.3 Resultados	36
3.4 Trabalhos Relacionados	40
3.5 Considerações Finais do Capítulo	46
4 OMMEL - Desenvolvimento do Artefato Ontológico	48
4.1 Introdução	48
4.1.1 Metodologias Utilizadas	49
4.2 Fase 1 - Especificação de Requisitos	52
4.3 Fase 2 - Aquisição do Conhecimento	55
4.4 Fase 3 - Conceitualização	60
4.5 Fase 4 - Integração	65
4.5.1 Modelagem Conceitual	67
4.6 Fase 5 - Implementação	74
4.6.1 Taxonomia	74
4.6.2 Visão Abrangente da Ontologia OMMEL	76
4.7 Considerações Finais do Capítulo	78

5	FastMain - Ferramenta Web Baseada na Ontologia OMMEL	80
5.1	A Utilização da OMMEL pela FastMain	80
5.2	Arquitetura da Solução	81
5.3	Interface do Usuário	84
5.4	Considerações Finais do Capítulo	86
6	Avaliação da Abordagem	87
6.1	Introdução	87
6.2	Estudo Experimental	87
6.2.1	Avaliação da Ontologia OMMEL	88
6.2.2	Por Ferramentas de Apoio	88
6.2.3	Pelos Especialistas	89
6.2.4	Avaliação da Ferramenta FastMain	93
6.2.5	Análise dos Resultados Exibidos	93
6.2.6	Análise do <i>Lead Time</i>	95
6.3	Considerações Finais do Capítulo	96
7	Conclusões e Perspectivas Futuras	98
7.1	Contribuições	99
7.2	Limitações e Ameaças à Validade	99
7.3	Trabalhos Futuros	100
A	Tabelas de Conceitualização	105
B	Taxonomias OMMEL	123
C	Algoritmos FastMain	125

Lista de Figuras

2.1	Fases da mineração a céu aberto.	18
2.2	Dois dos principais equipamentos pesados na mineração: escavadeira e caminhão fora-de-estrada.	20
2.3	Modos de conversão de conhecimento, adaptado de Nonaka, Takeuchi (1995).	23
3.1	Filtros aplicados.	35
3.2	Distribuição dos estudos ao longo dos anos.	37
3.3	Distribuição dos estudos de acordo com contextos.	37
3.4	Distribuição dos estudos de acordo com os setores da economia.	38
4.1	Adaptado de Mendonça (2015).	51
4.2	Artefatos documentais gerados a partir do desenvolvimento da ontologia OMMEL.	52
4.3	Exemplo de relatório a ser preenchido e disponibilizado para aquisição do conhecimento.	56
4.4	Exemplo de Número da Peça iguais que receberam cinco nomenclaturas para Tipo de Componente diferentes.	57
4.5	Exemplo de Número de Peça relativamente diferente que receberam nomenclaturas para Tipo de Componente diferentes.	57
4.6	Exemplo de erro.	58
4.7	Visualização das relações de eventos de manutenção.	69
4.8	Visualização das relações de eventos de manutenção, problemas e componentes eletrônicos.	71
4.9	Visualização das relações entre <i>Electronic Component</i> e <i>Fleet</i>	72
4.10	Visualização das relações entre os subtipos de <i>Electronic Component</i> e <i>Fleet</i>	73
4.11	Taxonomia da ontologia UFO - hierarquia dos indivíduos	75
4.12	Taxonomia da ontologia UFO - hierarquia dos tipos	76
4.13	Classes de Complexos Funcionais prevista plena ontologia UFO	76
4.14	Instanciação dos indivíduos de acordo com suas características	77
4.15	Exemplo das correlações entre indivíduos na ontologia OMMEL	78
5.1	Arquitetura da aplicação web FastMain	81
5.2	Interfaces gráficas por métodos de busca.	85
6.1	<i>Plugin</i> da ferramenta Protegé comprovando que não há violações com integrar a OMMEL com a UFO	88
6.2	Respostas das perguntas de 2 a 6 do questionário	91
6.3	Primeiros resultados da busca pela descrição <i>cartão atracanto todos as contadoras</i>	94
6.4	Demais resultados da busca pela descrição <i>cartão atracanto todos as contadoras</i>	94
6.5	Análise de <i>Lead Time</i> após utilização da ferramenta FastMain	96
B.1	Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das datas	123
B.2	Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das qualidades	123

B.3	Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das qualidades	123
B.4	Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia dos eventos	123
B.5	Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia dos complexos funcionais . .	124
B.6	Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das situações	124
B.7	Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das coleções variáveis	124

Lista de Tabelas

2.1	Exemplos de Ontologias de Fundamentação.	29
3.1	PICOC	34
3.2	Compilado de respostas a PP3 e PP4	39
4.1	Especificação de Requisitos	52
4.2	Glossário de Conceitos	58
4.3	Tabela de Conceitos e Valores	61
4.4	Tabela de Verbos e Relações Conceituais	63
6.1	Questionário	90
A.1	Tabela de Conceitos e Valores	105

Lista de Abreviaturas e Siglas

BFO	<i>Basic Formal Ontology</i>
ECM	Módulo de Controle Eletrônico - <i>Electronic Control Module</i>
ECU	Unidade de Controle Eletrônico - <i>Electronic Control Unit</i>
GMG	<i>Global Mining Guideliness</i>
MSL	Mapeamento Sistemático da Literatura
OWL	<i>Web Ontology Language</i>
PICOC	<i>Population, Intervention, Comparision, Outcomes and Context</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
UFO	<i>Unified Foundational Ontology</i>

1 Introdução

Todos os veículos automotores são equipados com um componentes eletrônicos projetados para assegurar seu ótimo desempenho. Tais componentes, frequentemente conhecidos como Unidades de Controle Eletrônico (ECUs) ou Módulos de Controle Eletrônico (ECMs), desempenham um papel crucial na moderna engenharia automotiva, otimizando a eficiência do motor, gerenciando emissões, controlando a transmissão e garantindo um desempenho suave e responsivo. A complexidade desses sistemas de controle continua a crescer à medida que avanços tecnológicos e normas de emissões mais rigorosas impulsionam o desenvolvimento de novas funcionalidades e aprimoramentos.

De maneira semelhante, as máquinas pesadas, como escavadeiras, tratores e caminhões de mineração, também incorporam módulos eletrônicos em seus sistemas. Essas gigantescas máquinas de movimentação de terra, conhecidas por sua impressionante capacidade de transporte e seu papel vital na indústria de construção e mineração, dependem da eletrônica para operar com eficiência e segurança. Devido à complexidade de suas operações, algumas dessas máquinas podem conter mais de um desses módulos eletrônicos, cada um com funções específicas e interconectados para garantir um funcionamento harmonioso e preciso.

Tanto os operadores humanos quanto as próprias máquinas que operam em ambientes de construção pesada e extração mineral enfrentam desafios significativos. Esses ambientes adversos são caracterizados por temperaturas extremas, vibrações intensas, a constante presença de poeira, riscos de descargas elétricas e outras condições climáticas desafiadoras. Essas complexidades ambientais exigem uma manutenção constante, seja ela de natureza corretiva para lidar com falhas imprevistas, ou preventiva, para evitar a deterioração e o desgaste dos componentes. A necessidade de manutenção é contínua devido à natureza hostil desses ambientes.

Essa manutenção pode variar de questões relativamente simples, que podem ser resolvidas em questão de horas, a tarefas altamente complexas que demandam dias de trabalho dedicados. A variação na complexidade da manutenção se deve não apenas à di-

versidade de máquinas e equipamentos em operação, mas também aos desafios ambientais específicos enfrentados em locais de construção pesada e mineração.

Diante desse cenário, uma empresa de mineração, proprietária de uma frota com centenas de máquinas pesadas, optou por estabelecer um laboratório eletrônico dedicado à manutenção de módulos centrais eletrônicos e demais componentes eletrônicos que compõem suas máquinas.

Com a escassez global de matérias-primas para a produção de fertilizantes e os preços em alta das commodities, a utilização de máquinas pesadas nos locais de mineração tem aumentado consideravelmente. Esse aumento na atividade também gerou uma demanda crescente por manutenção, abrangendo, claro, os componentes eletrônicos. No entanto, o laboratório enfrenta a limitação de contar com apenas um pequeno grupo de trabalhadores, o que deu origem a uma fila de espera de componentes eletrônicos aguardando manutenção.

Outro desafio enfrentado é a localização do laboratório na sede da empresa, distante dos locais de mineração. Conseqüentemente, os componentes eletrônicos que necessitam de manutenção precisam ser removidos das máquinas e transportados até o laboratório. O transporte inclui o envio de um relatório de falha junto com o componente.

Esses relatórios são etiquetas anexadas manualmente aos componentes, e preenchê-los manualmente frequentemente resulta em confusão. Isso ocorre devido a relatórios incompletos, ilegíveis ou porque alguém descreveu a falha utilizando gírias, jargões técnicos ou termos regionais. A falta de clareza na descrição da falha exige uma investigação adicional, o que, por sua vez, aumenta o tempo necessário para a manutenção.

Por outro lado, o laboratório também envia os componentes com um relatório impresso anexado a eles para outro local. Esse relatório contém informações detalhadas sobre as falhas encontradas, o processo de correção e todos os testes realizados no banco de testes. No entanto, os destinatários desse relatório frequentemente armazenam essas informações de forma arbitrária, comprometendo a rastreabilidade e a correlação entre a falha e sua resolução.

Reconhecendo a importância do conhecimento como um ativo intangível, a organização tem buscado maneiras de otimizar a gestão de dados. Como mencionado

por North, Kumta (2016), o conhecimento desempenha um papel significativo em organizações em todo o mundo, impulsionando a concorrência por meio de uma abordagem orientada pelo conhecimento e aprimorando os processos.

No contexto acima mencionado, prosseguimos com a motivação que levou a esta pesquisa, a identificação do problema, a abordagem para a solução encontrada e, por último, os objetivos definidos.

1.1 Motivação

Considerando a natureza altamente especializada dos serviços de manutenção e o fato de que apenas um seleto grupo de profissionais possui a expertise necessária, e ciente de que a gestão eficaz do conhecimento é comprovadamente capaz de gerar benefícios financeiros consideráveis e elevar o padrão de qualidade das entregas, é necessário empreender um movimento direcionado à organização do conhecimento mantido por esse grupo restrito de especialistas.

É notável o destaque dado a essa abordagem, tanto que existe o Global Mining Guideliness (GMG), grupo mundial dedicado à promoção de diretrizes de boas práticas. Um dos ramos de estudo desse grupo está voltado para o gerenciamento de ativos, onde são desenvolvidas orientações e recursos destinados a auxiliar empresas de mineração na otimização do desempenho de seus ativos e na maximização do valor ao longo do ciclo de vida de seus equipamentos. Esse esforço coletivo visa aprimorar significativamente a gestão de ativos na indústria da mineração. Como bem frisado em seu trabalho, Curilem et al. (2015) conclui que as empresas da indústria da mineração realizam a gestão do conhecimento de maneira muito pobre, baseado-se em simples análises históricas e experiências pessoais dos envolvidos na manutenção.

O desafio de consolidar e sistematizar esse conhecimento adquirido ao longo de anos de experiência é fundamental não apenas para aprimorar a eficiência e a eficácia das operações de manutenção, mas também para assegurar que esse valioso ativo intelectual seja preservado e compartilhado de forma a beneficiar a organização como um todo.

A promoção de uma cultura de gestão de conhecimento dentro da empresa pode contribuir significativamente para o sucesso contínuo das operações, promovendo a inovação,

a resolução de problemas de forma mais ágil e, por fim, uma vantagem competitiva duradoura.

1.2 Problema

Diante desse contexto, o problema abordado neste trabalho diz respeito à busca de modelos ou métodos eficazes para organizar o conhecimento atualmente disperso, frequentemente tácito, entre os poucos funcionários e seus relatórios, emitidos pelo laboratório de manutenção eletrônica.

1.3 Enfoque da Solução

A solução proposta neste trabalho tem seu foco na aquisição e organização do conhecimento presente nos relatórios de manutenção e, muitas vezes, implícito no intelecto dos poucos funcionários do laboratório de manutenção eletrônica. Essa abordagem prioriza a utilização de metodologias para a construção de ontologias do conhecimento, de forma a tornar o domínio acessível para aplicações que buscarão aprimorar os processos de manutenção de acordo com as necessidades vigente no momento.

1.4 Objetivo

O objetivo principal é desenvolver uma abordagem que permita a organização e a utilização mais eficaz do conhecimento atualmente presente nos relatórios e retido pelos funcionários.

Paralelamente, busca-se:

- criar uma representação precisa do ambiente de trabalho desses profissionais e das atividades de manutenção eletrônica que desempenham, com a finalidade de otimizar a aplicação desse valioso conhecimento;
- disponibilizar o domínio para aplicações que busquem aprimorar os processos de manutenção de acordo com as necessidades atuais.

1.5 Frutos Deste Estudo

Esta dissertação culminou em publicações em congressos internacionais, com *qualis* CAPES A4 e A3, respectivamente.

A primeira produção discorreu sobre o processo de modelagem da ontologia, recebendo o título de *A case study on the development of an ontology for maintenance services of heavy machinery electronic components*, apresentada no LADC '23: Proceedings of the 12th Latin-American Symposium on Dependable and Secure Computing em outubro de 2023.

Tal publicação despertou a atenção de membros do grupo de estudos *Semantics, Cybersecurity Services* (SCS) da Universidade de Twente (Países Baixos), orientado pelo Professor Doutor Giancarlo Guizzardi, um dos criadores da Unified Foundational Ontology (UFO), utilizada como ontologia de fundamentação para esta abordagem. Foi pedida a publicação do modelo conceitual para colaborar com o catálogo OntoUML/UFO.

Já o processo de criação e validação da abordagem baseada na ontologia originou o artigo intitulado *An ontology-based approach to improve the lead time for industrial services*, a ser apresentado entre os dias 17 e 19 de abril no evento AINA-2024: The 38-th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, para posterior publicação na série de livros *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* da Springer.

1.6 Organização da Dissertação

Os próximos capítulos deste trabalho estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2 - Referencial Teórico: versa sobre os conceitos fundamentais deste trabalho, bem como apresenta os resultados do mapeamento sistemático realizado.
- Capítulo 3 - Mapeamento Sistemático da Literatura: apresenta o estudo secundário realizado para obter maior compreensão sobre metodologias empregadas para a aquisição e processamento de informações semânticas;
- Capítulo 4 - OMMEL - Desenvolvimento do Artefato Ontológico: apresenta a cons-

trução em etapas do artefato ontológico, seguindo conformidades metodológicas;

- Capítulo 5 - FastMain - Ferramenta Web Baseada na Ontologia OMMEL: apresenta a construção do sistema para dar suporte a validade da ontologia e avaliar como a mesma pode impactar contextos;
- Capítulo 6 - Avaliação da Abordagem: apresenta os formas de avaliação e validação das soluções propostas.
- Capítulo 7 - Considerações Finais e Perspectivas Futuras: expõe as contribuições do estudo para a academia e para o contexto no qual está inserida, suas limitações e trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

Este capítulo abrange tópicos centrais relacionados a esta dissertação. Estes incluem a indústria de extração mineral em minas a céu aberto, equipamentos pesados, gestão do conhecimento, ontologia e as ferramentas associadas para seu desenvolvimento, manipulação e testes. Além de explorar esses temas, o capítulo tem como objetivo fornecer uma base sólida para capacitar o leitor a compreender os capítulos subsequentes.

2.1 Indústria de Extração de Minerais

A indústria de extração de minerais, conhecida como mineração, desempenhou um papel crucial ao longo da história da civilização humana. Tão antiga quanto a agricultura, como frisado por Hartman, Mutmansky (2002), Perkins (2011) relembra que a mineração remonta às fases mais remotas da Pré-história, quando os seres humanos descobriram minerais e aprenderam a processá-los para criar ferramentas e instrumentos.

Os mesmos autores Hartman, Mutmansky (2002) destacam que, no contexto de suas obras, a pesca está intimamente relacionada à agricultura, enquanto a exploração de petróleo e gás está ligada à atividade de mineração. Essas duas atividades, agricultura e mineração, são fundamentais para a manutenção da civilização como a conhecemos.

Vinte e um anos após suas observações iniciais, podemos reafirmar essa constatação e acrescentar que os avanços tecnológicos, como a eletrificação de veículos, estão diretamente ligados às atividades de extração e processamento de minerais, como o lítio.

Ainda de acordo com Hartman, Mutmansky (2002), o ciclo de vida de uma região a ser explorada compreende cinco fases distintas. Duas dessas fases pertencem ao estágio pré-mineração, enquanto outras duas estão diretamente relacionadas às atividades de mineração. A quinta fase tem início quando todos os recursos do solo foram exauridos. Tais fases são aprofundadas abaixo e ilustradas pela Figura 2.1:

1. **Prospecção:** inicia-se com a coleta de amostras de solo para estudos geológicos, geofísicos e geoquímicos, juntamente com a produção de fotos aéreas;

2. **Estudos:** nesta fase, os materiais coletados na etapa de prospecção são minuciosamente analisados para determinar o valor e as reservas de minério na área. Caso necessário, coletam-se mais amostras, e um estudo de viabilidade do projeto é conduzido;
3. **Desenvolvimento:** envolve a aquisição de permissões para exploração, obtenção de licenças ambientais e construção de infraestrutura. Isso inclui a criação de estradas para acesso à região, a construção da planta de processamento (se o processamento ocorrer no local), a edificação de escritórios e outras estruturas necessárias. Além disso, são abertas as primeiras frentes de lavra;
4. **Exploração:** essa fase, ocorre a produção em larga escala do minério, geralmente motivada por razões estratégicas da empresa detentora da licença de exploração;
5. **Recuperação:** esta etapa visa a restauração do meio ambiente, incluindo a remoção de toda a infraestrutura construída. O objetivo é restabelecer a fauna e a flora originais da região.

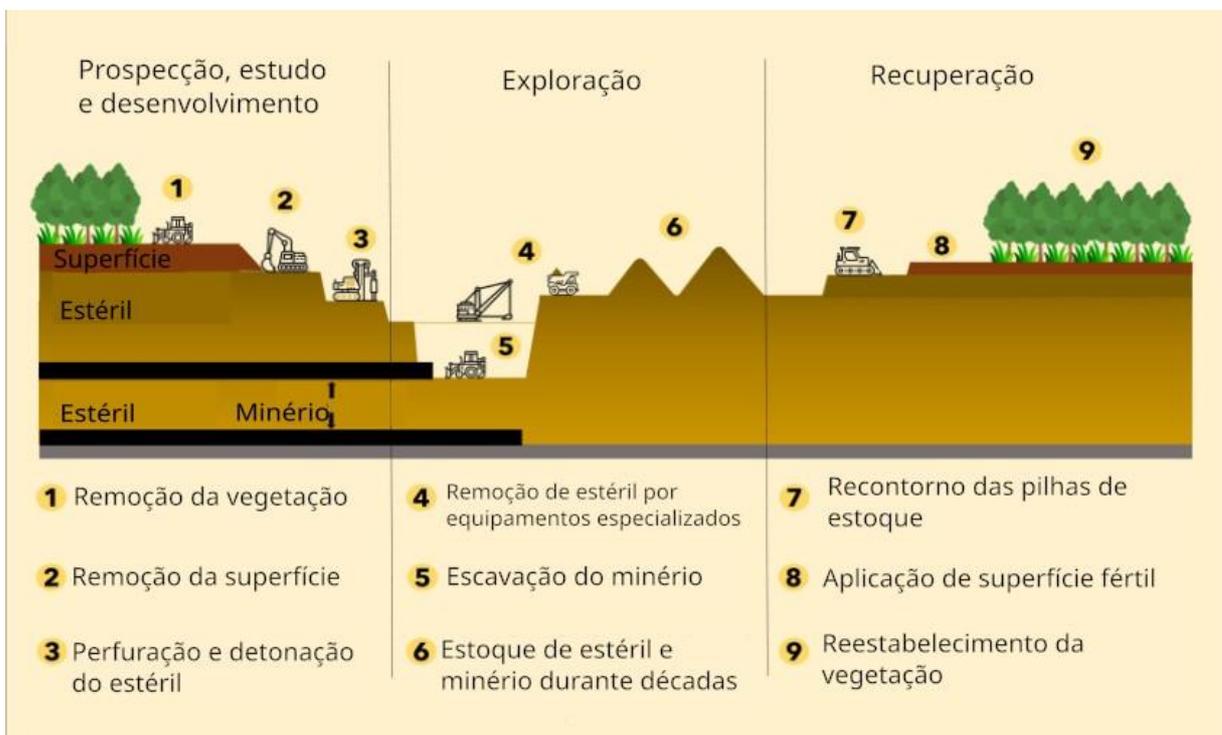


Figura 2.1: Fases da mineração a céu aberto.
Fonte: Adaptado de Gunathunga (2022)

A fase de exploração mineral é uma etapa crucial no ciclo de vida da atividade de mineração. Durante essa fase, ocorre a produção em larga escala do minério, impulsionada por diversas motivações, incluindo o potencial de lucro, a demanda específica do mercado por minerais e a estratégia da empresa detentora da licença de exploração.

Durante esse estágio, as operações de mineração são ampliadas para atender às metas de produção previamente estabelecidas. Isso envolve a extração contínua do minério da jazida, que pode estar localizada em minas a céu aberto ou subterrâneas, sendo a escolha determinada pelas características do depósito mineral.

Os métodos de extração e processamento variam consideravelmente, dependendo do tipo de minério e das características geológicas da região. Minerais como carvão, minério de ferro, cobre e ouro são frequentemente explorados em larga escala.

Para a exploração em grande escala, um dos métodos mais amplamente empregados é a mineração a céu aberto. Esse método implica na remoção da cobertura de solo e rocha para expor o minério. Devido ao volume significativo de material a ser movido, equipamentos especializados são fundamentais nesse processo, que são os conhecidos equipamentos pesados.

2.2 Equipamentos Pesados

Os procedimentos essenciais durante a fase de exploração no ciclo de vida da mineração, conforme detalhado na Seção 2.1, demandam a movimentação de volumes consideráveis de terra. Para otimizar essas operações de movimentação de terra, surgiram os equipamentos pesados, como o caminhão fora-de-estrada capaz de transportar cerca de 400 toneladas, ilustrado pela Figura 2.2.

Os fabricantes produzem uma ampla gama de equipamentos destinados a atividades de construção pesada, e a capacidade de desempenho desses equipamentos está diretamente relacionada ao seu tamanho e à potência do motor Gransberg et al. (2006). Em outras palavras, quanto maior a necessidade de eficiência, maior será o custo associado à produção da atividade de extração e à manutenção do equipamento.

Esses equipamentos possuem unidades ou módulos de controle eletrônico (ECU ou ECM, siglas em inglês) que são responsáveis por manter os níveis operacionais ideais do



Figura 2.2: Dois dos principais equipamentos pesados na mineração: excavadeira e caminhão fora-de-estrada.

Fonte: Alamy

equipamento como um todo. Devido ao grande porte físico dessas máquinas, os fabricantes optaram por produzir mais de um ECM para um mesmo equipamento, subdividindo assim sistemas críticos, como o do motor, transmissão e freios.

Esse monitoramento de funções críticas, otimiza o desempenho, a eficiência e a segurança operacional. Além disso, os ECU coletam dados para manutenção preditiva, permitindo a detecção precoce de problemas. Eles também desempenham um papel fundamental na integração de dados e personalização para atender às necessidades específicas da mineração. Essa abordagem especializada em módulos reduz a probabilidade de erros operacionais que poderiam representar riscos para a segurança do ambiente onde a máquina está operando.

Um estudo realizado por Andrew et al. (2023) destaca vários fatores que contribuem para a inatividade desses equipamentos. Entre os principais fatores estão o uso inadequado em diversas formas, a falta de operadores qualificados, a ausência de manutenção preditiva realizada com a frequência adequada e falhas prematuras de componentes. Essas situações resultam diretamente na redução da produtividade e, como consequência, em um aumento nos custos operacionais.

A falha prematura pode ser atribuída a diversos fatores como as condições ambientais adversas, como a exposição a poeira, umidade, variações de temperatura e produtos químicos nos ambientes de mineração Zhi-Hai et al. (2010). Esses fatores podem causar desgaste nos componentes eletrônicos, resultando em falhas antes do esperado.

Além disso, as operações frequentemente envolvem movimentos e impactos intensos, como vibrações e choques. Esses constantes movimentos e impactos podem afetar negativamente os componentes eletrônicos, contribuindo para falhas sua falha.

A umidade e a corrosão são outro fator a considerar. Se os ECU não forem selados de forma eficaz contra a umidade ou se houver infiltração de água devido a danos, pode ocorrer corrosão nos circuitos.

A sobrecarga de trabalho e o sobreaquecimento devido a má operação do equipamento também são fatores que podem danificar os ECU. A operação constante em altas temperaturas pode causar superaquecimento, enquanto o uso além das capacidades projetadas pode sobrecarregar os componentes eletrônicos.

Esses desafios são significativos na indústria de mineração, onde a eficiência operacional dos equipamentos pesados desempenha um papel crítico na rentabilidade e na segurança das operações, como observado por Curilem et al. (2015). Portanto, a manutenção eficaz e o gerenciamento do conhecimento sobre esses sistemas são fundamentais para mitigar esses problemas e otimizar o desempenho.

2.3 Gestão do Conhecimento

Em sua obra, Davenport, Prusak (1998) explicam que dados representam fatos objetivos, a informação é uma mensagem dotada de significado, e o conhecimento é uma fusão de experiência, valores e contexto que capacita a avaliação, adaptação e geração de novas ideias. O valor do conhecimento é enfatizado, uma vez que ele é capaz de lidar com a complexidade, aprender com a experiência e conferir uma vantagem competitiva sustentável. A gestão do conhecimento é uma abordagem essencial para as organizações, embora enfrentem desafios para localizar, acessar, compartilhar e aplicar o conhecimento.

Com o advento da Guerra Fria nos Estados Unidos, durante os anos 80, Wiig (1997) observou um aumento significativo na valorização do conhecimento. Isso foi im-

pulsionado pela busca de qualidade, reatividade, diversidade e personalização de serviços, fatores que se tornaram cruciais devido à competitividade da época.

À luz da gestão organizacional e da teoria atual, Choo (2003) destaca o papel estratégico da criação e utilização da informação no que diz respeito à adaptabilidade e crescimento das empresas. Essa abordagem estratégica envolve a capacidade de utilizar informações para decifrar o complexo ambiente externo, garantir um suprimento confiável e modelar o desempenho organizacional. Adicionalmente, a capacidade de processar informações com a finalidade de gerar conhecimento, particularmente por meio do processo de aprendizagem, possibilita que as organizações desenvolvam novas habilidades essenciais para se manterem competitivas. A avaliação criteriosa das informações é um pilar fundamental para embasar tomadas de decisão racionais, livre de conflitos de interesses.

Chua et al. (2023) realizaram uma revisão da literatura sobre os fatores que influenciam o processo de compartilhamento de conhecimento. Este estudo englobou a análise de 39 artigos publicados entre os anos 2000 e 2022. Os autores categorizaram as barreiras a serem superadas pelas organizações em quatro áreas distintas: individual, cultural, tecnológica e organizacional. Cada uma dessas categorias engloba vários fatores que exercem impacto sobre o comportamento tanto a nível individual quanto coletivo, abordando aspectos como confiança, motivação, recompensas, linguagem, cultura organizacional, suporte gerencial e sistemas de informação.

Com isso, voltamos ao artigo de Davenport, Prusak (1998) quando ele já cita que a tecnologia é encarada como uma ferramenta de apoio, não como um substituto, para o conhecimento.

Tendo a consciência sobre a tecnologia ser um meio e não um final e a necessidade de vencer barreiras, os autores Nonaka, Takeuchi (1995) argumentam que as empresas japonesas atribuem sua excelência à manutenção da sinergia entre o conhecimento tácito (conhecimento pessoal) e o conhecimento explícito (por vezes coletivo) na construção do conhecimento organizacional. Isso ocorre por meio da conversão entre esses tipos de conhecimento, como ilustrado na Figura 2.3.

Discorrendo sobre a dinâmica ilustrada pela Figura 2.3 a socialização é a habilidade de compartilhar experiências, ou seja, conhecimentos tácitos, transmitindo modelos



Figura 2.3: Modos de conversão de conhecimento, adaptado de Nonaka, Takeuchi (1995).

mentais ou técnicas. Essa transmissão ocorre muitas vezes sem a necessidade de comunicação verbal, já que observação, imitação e prática são suficientes. A experiência, adquirida através dos sentidos, constitui a base para a construção do conhecimento tácito. Nesse processo, a partilha de conhecimento frequentemente envolve a transmissão de emoções, enriquecendo ainda mais a troca.

A externalização, por sua vez, representa a transformação do conhecimento tácito em conhecimento explícito. Esse processo é frequentemente desencadeado em momentos de criação conceitual, onde metáforas, analogias, conceitos e hipóteses são compartilhados. A maioria das vezes, essa partilha é realizada por meio da linguagem escrita ou falada. As metodologias de criação de conceitos costumam combinar abordagens dedutivas e indutivas.

A combinação é a etapa em que os conceitos são sistematizados em um sistema de conhecimento. Essa conversão de conhecimento envolve a partilha de conhecimento explícito, seja na forma de documentação ou durante reuniões, entre outros contextos.

A internalização, por sua vez, refere-se ao processo de aquisição de conhecimento explícito e à sua transformação em conhecimento tácito. Quando o ciclo de transformação do conhecimento é completo, incluindo as etapas de socialização, externalização, combinação e internalização por parte de um indivíduo, esse indivíduo se torna um ativo valioso para as empresas.

A plena compreensão e aplicação desse ciclo de conversão de conhecimento são cruciais para otimizar a capacidade de aprendizagem e inovação em organizações. Esse processo não apenas permite o compartilhamento eficaz de experiências e conhecimentos, mas também promove a construção de um corpo de conhecimento sólido e valioso.

O armazenamento do conhecimento em ambientes tecnológicos abre portas para diversos métodos que facilitam a difusão, a criação de novos conhecimentos e a promoção da interoperabilidade entre os sistemas de armazenamento. Um desses métodos, que será abordado em detalhes nas Seções 2.3.1 e 2.4, alinha os conceitos e atividades.

2.3.1 ISO/IEC 21838

A ISO/IEC 21838 é uma norma internacional que abrange a gestão do conhecimento e seu sistema. Esta norma é dividida em duas partes, a ISO/IEC 21838-1 ISO (2021a) e a ISO/IEC 21838-2 ISO (2021b).

Na primeira parte, ISO/IEC 21838-1, são estabelecidos os conceitos e princípios fundamentais da gestão do conhecimento. Nesta seção, o conhecimento é definido como uma combinação de informações, experiências e valores que proporcionam uma vantagem na tomada de decisões. A norma promove princípios essenciais, incluindo o reconhecimento do conhecimento como um ativo, a promoção de uma cultura de aprendizado e compartilhamento, a abordagem orientada por processos e a participação ativa da liderança. Além disso, enfatiza a importância de criar uma cultura organizacional que valorize o conhecimento e a busca contínua por aprendizado.

A segunda parte, ISO/IEC 21838-2, concentra-se na gestão do conhecimento com o uso de ontologias. Ela reconhece que as ontologias desempenham um papel vital na gestão do conhecimento, fornecendo uma estrutura semântica para representar o conhecimento de maneira padronizada. Esta seção da norma aborda o uso de ontologias para organizar e estruturar o conhecimento dentro de uma organização, melhorando a interoperabilidade, a recuperação de informações e a compreensão semântica. Além disso, oferece orientações sobre o desenvolvimento de ontologias, sua integração, aprimoramento da recuperação de informações e gerenciamento de mudanças.

Optou-se por explorar um detalhe específico desta segunda parte da norma na

Subseção 2.4.2.

2.4 Ontologia

Como concluído pelos autores Studer et al. (1998) em sua revisão, as ontologias são estruturas essenciais na gestão do conhecimento e sistemas de gerenciamento do conhecimento, pois organizam o conhecimento de forma lógica, padronizam terminologias, melhoram a recuperação de informações e possibilitam uma compreensão semântica mais profunda. Além disso, facilitam a integração de fontes de dados, auxiliam na gestão do conhecimento tácito e desempenham um papel crucial na tomada de decisões e eficiência operacional nas organizações, sendo fundamentais para sistemas de gerenciamento de conhecimento orientados por semântica.

O autor Almeida (2013), juntamente com Hennig (2008), em seus estudos, revisita conceitos fundamentais sobre ontologias, abordando duas perspectivas: a filosófica e a da ciência da computação. A ontologia, com raízes na filosofia, especificamente na metafísica, é explorada como uma disciplina essencial para compreender a natureza da existência, da realidade e das relações entre entidades.

A ontologia é apresentada como uma disciplina que busca compreender sua própria natureza e razão de existência, enfatizando a teoria das categorias, que descreve sistemas de categorias organizadas em hierarquias, sendo a categoria superior denominada "entidade".

Sumarizando o autor Almeida (2020) no segundo capítulo de sua obra, Aristóteles foi o primeiro a empregar a palavra "categoria" para descrever o ato de predicação, referindo-se a entidades de nível mais elevado. Ao atribuir características específicas a objetos, ele apontava para um único elemento no topo da taxonomia, estabelecendo, desse modo, um relacionamento lógico de conduta entre entidades.

Esse processo reflete a abordagem aristotélica na busca por uma hierarquia de conceitos, na qual entidades particulares estão subordinadas a conceitos mais gerais. Isso contribuiu para a organização do conhecimento e a compreensão das relações lógicas entre diferentes categorias.

Posteriormente, o filósofo Lowe sucedeu as ideias de Aristóteles, introduzindo

pequenas mudanças e desenvolvendo uma ontologia que inclui as categorias objeto, tipo, atributo e modo. Sua taxonomia distingue entre universais e particulares, bem como entre substâncias e não substâncias.

Nesse contexto, Lowe estabeleceu quatro categorias fundamentais: Particular Substancial, que representa propriedades concretas e persistentes no tempo; Particular Não Substancial, referente a instâncias de relacionamentos e propriedades, denominadas modos; Universal Substancial, que representa tipos naturais de objetos; e Universal Não Substancial, que é uma propriedade ou relação concebida como universal.

Enquanto Aristóteles buscava a classificação e categorização das entidades do mundo real baseando-se em lógica, Lowe expande conceitos para melhor exploração da natureza do ser, de sua realidade e relações. Tais conceitos serão retomados no decorrer deste trabalho.

Discorrendo sobre outros filósofos, o autor também menciona Kant, destacando sua ênfase na diferenciação entre preposições analíticas e sintéticas em julgamentos sujeito-predicado, relacionando-as com a complexidade consciente e cognitiva na referência direta ou indireta a objetos por meio de intuição ou conceitos. Além disso, Husserl é apresentado como alguém que vê a ontologia como uma disciplina que permite a aplicação de regras que governam entidades semelhantes a outras.

Em resumo, Aristóteles utilizou a linguagem para descrever categorias ontológicas, enquanto Kant empregou conceitos para conectar categorias a objetos por meio da cognição. Ambos filósofos buscaram descrever estruturas de categorização do mundo de acordo com o pensamento e a linguagem humanos.

No contexto científico, como elucidam Arp et al. (2015) em sua obra, as ontologias desempenham o papel de representar o conhecimento abrangente de um determinado domínio, tornando-o compreensível para pessoas de diversas áreas. Isso, por sua vez, facilita o desenvolvimento, teste e aplicação de teorias científicas, contribuindo significativamente para o progresso do conhecimento. Os autores enfatizam que as ontologias devem ser percebidas como artefatos representacionais, no sentido de que as entidades que representam correspondem a entidades reais. Essa caracterização como artefato decorre do fato de que o propósito das ontologias é tornar-se público, acessível e útil a um amplo

público.

Esclarecimentos semelhantes são apresentados no artigo de Gruninger et al. (2008), que ressalta que ontologias na ciência da computação foram inicialmente concebidas para possibilitar representações de conhecimento compartilháveis e reutilizáveis. No entanto, o amplo espectro de trabalhos atuais envolvendo ontologias levanta a possibilidade de que elas estejam sendo desenvolvidas sem um entendimento comum de suas definições, implementações e aplicações.

O autor também argumenta que a engenharia ontológica deve ser considerada como uma disciplina complementar à engenharia de software e a praticamente qualquer campo relacionado à troca de dados e informações. Ele prevê que essa disciplina se torne uma parte cada vez mais integrada aos currículos em áreas relevantes.

Com o intuito de controlar a proliferação desordenada de termos e garantir uma base sólida para a representação do conhecimento, foram desenvolvidas as Ontologias de Fundamentação, conforme detalhado na Subseção 2.4.2. Essas ontologias desempenham um papel fundamental ao estabelecer os alicerces conceituais necessários para a estruturação e organização do conhecimento em diferentes domínios, promovendo a coerência e a compreensão semântica.

2.4.1 Metodologias de Construção de Artefatos Ontológicos

Ao longo do tempo, devido ao uso crescente e às diversas aplicações das ontologias na representação do conhecimento, foram desenvolvidas metodologias para organizar e facilitar o processo de construção e manutenção de uma ontologia. Apesar de muitas dessas metodologias terem sido estabelecidas entre os anos de 1990 e 2000, continuam sendo referenciadas em pesquisas atuais nessa área.

Listando aquelas mais citadas, tem-se:

- A metodologia TOVE (*TOronto Virtual Enterprise*) de Petrie (1992) descreve a modelagem de processos e conceitualização de ontologias, voltadas para a representação de processos em domínios corporativos;
- Originária do desenvolvimento da ontologia *Enterprise Ontology*, a metodologia de

Ushold, King (1995) também busca descrever conhecimento sobre domínios corporativos;

- Methontology de Fernandez-Lopez et al. (1997) originalmente foi criada para tratar a criação de uma ontologia no domínio da química, porém os autores afirmam que é aplicável a quaisquer domínios do conhecimento;
- O chamado Método 101, foi criado e disponibilizado pelos autores Noy, McGuinness (2001) como tutorial de como criar e implementar uma ontologia utilizando o editor *Protégé*.
- Suárez-Figueroa et al. (2012) desenvolveram a metodologia NeON para a construção de redes ontológicas, baseada em um processo colaborativo e argumentativo. Essa metodologia é fruto de uma abordagem híbrida que combina princípios metodológicos da área de Engenharia de Software com elementos de outras metodologias para a construção de ontologias, como a *Methontology*.

Recentemente, a tese de doutorado de Mendonça (2015) introduziu a OntoForInfoScience, uma metodologia fundada em abordagens reconhecidas, como NeOn, Methontology e o método 101. Seu propósito é facilitar a representação de conhecimento, detalhando as etapas realizadas no processo de construção de ontologias. Essa metodologia tem como objetivo esclarecer e promover a correta construção de ontologias, buscando tornar esse processo mais acessível e compreensível.

2.4.2 Ontologias de Fundamentação

O uso de ontologias de fundamentação desempenha um papel fundamental na criação de modelos ontológicos que representam com precisão a realidade de um determinado domínio. Essas ontologias são frequentemente denominadas como meta-ontologias, upper ontologies ou top-level ontologies. Elas atuam como um alicerce sólido, estabelecendo os princípios fundamentais para a representação de conhecimento, que posteriormente serão aplicados nos modelos ontológicos específicos do domínio.

Essas ontologias de fundamentação têm uma função crucial, pois fornecem uma estrutura conceitual geral que aborda questões filosóficas e metafísicas subjacentes. Elas

garantem que os modelos ontológicos sejam consistentes e alinhados com uma compreensão mais profunda da realidade. Isso é particularmente importante na ciência da computação, onde a semântica precisa e a coerência entre diferentes sistemas e domínios são essenciais.

No estudo conduzido por Partridge et al. (2020), os autores exploraram várias ontologias autodenominadas de fundamentação. O objetivo era avaliar se essas ontologias cumpriam os princípios filosóficos subjacentes e se realmente serviam como uma base sólida para a construção de modelos ontológicos. A tabela apresentada (Tabela 2.1) oferece exemplos de algumas dessas ontologias de fundamentação, destacando sua importância no campo da ontologia e da gestão do conhecimento.

Tabela 2.1: Exemplos de Ontologias de Fundamentação.

Acrônimo	Data do Primeiro Lançamento
BFO	2002
BORO	Final dos anos 1980
Cyc	1984
DOLCE	2002
GFO	1999
SUMO	2000
UFO	2005

Fim da tabela

Fonte: Partridge et al. (2020).

Retomando a seção 2.3.1, a ISO/IEC 21838-2 adota a *Basic Formal Ontology* (BFO) como sua ontologia de fundamentação. A BFO é uma ontologia altamente respeitada que atende a todos os requisitos estabelecidos para ontologias de fundamentação na ISO/IEC 21838-1. No entanto, é importante destacar que a adoção da BFO não impõe uma obrigatoriedade estrita a todos os desenvolvedores de ontologias.

2.4.3 Protegé

No desenvolvimento de ontologias, existem várias ferramentas disponíveis, cada uma com suas próprias características e vantagens. A escolha da ferramenta de desenvolvimento de ontologia dependerá dos requisitos específicos do projeto, do conhecimento da equipe e das preferências. Ferramentas como o TopBraid Composer, OntoStudio e PoolParty são mais adequadas para cenários empresariais onde o suporte comercial e a escalabilidade são importantes.

O Protegé oferece diversos benefícios significativos ao ser utilizado em todo o ciclo de vida de uma ontologia, é amplamente utilizado (366.084 usuários REF (2023)) e mantido pela Universidade de Stanford.

Primeiramente, sua interface gráfica intuitiva facilita a modelagem, edição e visualização de ontologias, tornando o processo mais acessível a uma variedade de usuários, independentemente de seu nível de experiência em ontologia. Isso agiliza o desenvolvimento e a manutenção de ontologias.

Além disso, o Protegé suporta várias linguagens de ontologia, incluindo OWL e RDF, o que o torna flexível e adequado para diferentes necessidades e padrões ontológicos. Ele também oferece uma ampla gama de plugins e extensões que permitem a personalização de acordo com as necessidades específicas de um projeto.

A colaboração é facilitada pelo Protegé Web, que permite a edição de ontologias diretamente no navegador e suporta a colaboração em tempo real, tornando-o uma escolha valiosa para projetos de equipe e pesquisas conjuntas. Isso contribui para um desenvolvimento mais eficiente e uma maior produtividade.

Outra vantagem é a presença de uma comunidade ativa de desenvolvedores e usuários, garantindo suporte contínuo, resolução de problemas e recursos de aprendizado. Isso promove a confiabilidade da ferramenta e a atualização constante.

É de código aberto, o que significa que é acessível e customizável, tornando-o uma opção econômica para organizações que desejam adotar a gestão de conhecimento baseada em ontologias.

2.4.4 OntoUML

De acordo com os próprios autores, pode-se entender a OntoUML como:

”Uma linguagem ontologicamente fundamentada para Modelagem Conceitual Orientada por Ontologia. Ela é desenvolvida como uma extensão do UML com base na Ontologia Unificada Fundamental (UFO). As bases da UFO e da OntoUML remontam à tese de doutorado de Giancarlo Guizzardi, intitulada ”Fundamentos Ontológicos para Modelos Conceituais Estruturais”. Em seu trabalho, Guizzardi propôs uma ontologia fundamental inovadora para modelagem conceitual (UFO) e a utilizou para avaliar e redesenhar um fragmento do metamodelo UML 2.0 com o objetivo de modelagem conceitual e engenharia de ontologias de domínio.”¹

Esta linguagem é de código aberto e é mantida pelo Grupo de Pesquisa em Ontologia e Modelagem Conceitual (NEMO) da Universidade Federal do Espírito Santo. Além disso, eles desenvolveram um *plug-in* que facilita a criação de modelos utilizando a ferramenta Visual Paradigm. Por sua vez, o Visual Paradigm é uma ferramenta amplamente empregada para modelagens de sistemas e, que no contexto deste trabalho, foi utilizada em sua versão *Community*, sem prejudicar utilização do *plug-in* da OntoUML.

A escolha de utilizar a linguagem OntoUML no desenvolvimento deste trabalho está diretamente relacionada à escolha da ontologia de fundamentação. Dado que uma teve origem na outra, concluiu-se que a não utilização da OntoUML para conduzir a modelagem conceitual poderia impactar negativamente a compreensão e a elaboração final da ontologia de domínio.

2.5 Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo estabeleceu os conceitos fundamentais que contextualizam esta dissertação. Iniciando com uma introdução à indústria de extração mineral, à qual a empresa envolvida na pesquisa pertence, discutiu-se a relevância da utilização e manutenção adequada de

¹Disponível em <https://ontouml.org/ontouml/>

equipamentos pesados em minas a céu aberto, cujos possuem componentes eletrônicos que requerem manutenção devido a várias razões.

Para assegurar a eficiência e eficácia dos serviços de manutenção, a empresa deve estabelecer uma gestão adequada do conhecimento, abrangendo tanto o conhecimento formalmente documentado quanto o conhecimento tácito presente em seus colaboradores, garantindo o desempenho ideal dos equipamentos e, por consequência, o sucesso das operações de mineração.

Como referenciado bibliograficamente e atestado por mim diariamente, a gestão do conhecimento na indústria de mineração é pobre e ineficaz, ocasionando retrabalhos ou aumento das horas de execução de serviços de manutenção.

Em 2021 foi publicada a primeira edição da norma ISO/IEC 21838 de tecnologia da informação. Esta norma reconhece a importância da gestão do conhecimento para as organizações e estabelece o uso de ontologias de domínio como padrão para esse fim. Embora a norma mencione explicitamente uma ontologia de fundamentação específica (BFO), ela também respeita a diversidade e a flexibilidade necessárias no campo da ontologia e gestão do conhecimento. A norma reconhece que diferentes contextos e domínios podem exigir abordagens personalizadas e, portanto, não impõe uma regra rígida para o uso da BFO, mantendo a liberdade de aplicar outras ontologias de fundamentação, se necessário.

Em resumo, a ISO/IEC 21838 oferece diretrizes fundamentais para a gestão do conhecimento, reconhecendo simultaneamente a necessidade de adaptabilidade e personalização em diferentes contextos de gestão do conhecimento. Essa abordagem reflete a natureza colaborativa e em constante evolução desse campo.

3 Mapeamento Sistemático da Literatura

Uma das etapas iniciais na construção desta dissertação envolveu a realização de um abrangente estudo secundário por meio de um mapeamento sistemático da literatura existente. O objetivo principal era obter uma compreensão mais aprofundada e, sobretudo, identificar as metodologias empregadas nos estudos primários relacionados à aquisição e processamento de informações semânticas por sistemas especialistas, com foco em fornecer suporte à tomada de decisões.

3.1 Planejamento

Para realizar o Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), seguiu-se a metodologia proposta por Wohlin et al. (2012), a qual utiliza a estratégia PICOC. Tal estratégia foi adotada por possuir uma estrutura organizada e com foco na relevância para a formulação tanto de perguntas de pesquisa como para a identificação de palavras-chave, direcionando assim todo o desenho do estudo. Além disso, sua metodologia amplamente utilizada favorece a comunicação entre pesquisadores e favorece uma busca e avaliação crítica sobre os resultados retornados.

PICOC é um acrônimo das palavras que são utilizadas como critérios. A título de melhor entendimento sobre o que é tratado em cada critério da estratégia, tem-se a seguinte explicação:

- População (P): grupo de indivíduos ou entidades que são foco da pesquisa, incluindo quem ou o que está sendo estudado.
- Intervenção (I): intervenção que está sendo aplicada aos participantes da pesquisa.
- Comparação (C): condição de referência com a qual a intervenção será comparada para que se possa determinar se a intervenção tem algum efeito significativo em comparação com uma condição existente.

- Resultado (O): medidas ou variáveis que são avaliadas para determinar o efeito da intervenção.
- Contexto (C): ambiente ou cenário em que a pesquisa foi realizada. Isso inclui não apenas o local físico, mas também o contexto social, cultural, político e econômico em que a intervenção está sendo implementada.

De posse deste conhecimento, o escopo para cada critério da estratégia PICOC está detalhado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: PICOC

Critério	Escopo
<i>Population</i>	Knowledge-based systems or expert systems used for task management.
<i>Intervention</i>	Understanding how knowledge engineering is used for data acquisition and the role of semantics within these systems.
<i>Comparison</i>	None
<i>Outcomes</i>	Understanding how these systems are used to promote collaboration in the workplace and how they provide decision support.
<i>Context</i>	None

Perante tais escopos, buscava-se responder a quatro perguntas de pesquisa:

PP 1 - Qual é a distribuição dos estudos ao longo dos anos?

PP 2 - Qual é a distribuição dos estudos de acordo com o contexto?

PP 3 - Quais ferramentas ou ecossistemas de software baseados em conhecimento ou que oferecem suporte à decisão são frequentemente utilizados?

PP 4 - Quais são os métodos de avaliação das soluções propostas nos estudos?

Por ser uma área relativamente nova para todos os pesquisadores envolvidos neste trabalho, optou-se por realizar este MSL de forma abrangente e genérica. No início das tratativas, pairavam dúvidas acerca sobre se estudos sobre aquisição do conhecimento e processamento de dados semânticos ainda eram relevantes para a academia, o que buscamos responder com a PP1.

Já a PP2 parte de uma dúvida sobre qual de fato são os contextos os quais os resultados estão inseridos e por isso optou-se por suprimir o escopo para o critério de Contexto.

Enquanto a PP3 e a PP4 buscam respostas abrangentes quando suprimimos o

critério de Comparação, para podermos responder a hipótese de que artefatos ontológicos seriam bastante utilizados em sistemas de processamento semântico.

A escolha da língua inglesa para conduzir as buscas tinha como objetivo obter uma amplitude maior de resultados. Portanto, a string de busca utilizada foi (“knowledge-based system” OR “expert system”) AND “knowledge engineering” AND “semantics” AND “knowledge acquisition” AND “quality of experience” AND “collaboration” AND “decision support”.

3.2 Condução

O MSL contou com o apoio da ferramenta online Parsif.al². Essa plataforma permite que os pesquisadores documentem todo o processo, com foco nas etapas essenciais de planejamento, condução e resultados de um estudo na área de Engenharia de Software.

Para a condução do MSL, foi implementado um fluxo de filtragem de artigos, como ilustrado na Figura 3.1. Esse processo de filtragem resultou em uma redução quantitativa do número de estudos após as buscas nas bases de dados. No entanto, essa abordagem também levou a um aumento qualitativo, contribuindo para respostas mais precisas às perguntas de pesquisa.

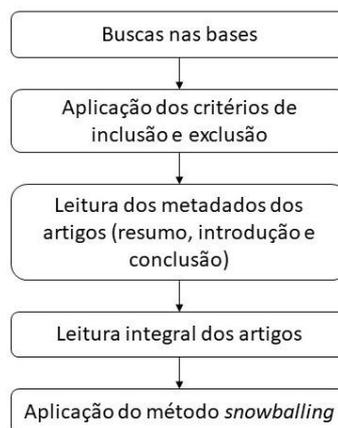


Figura 3.1: Filtros aplicados.

Em 6 de junho de 2022, foram obtidos um total de 417 artigos nas seguintes bases de busca: Association for Computing Machinery (ACM), ScienceDirect e Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

²<https://parsif.al/>

A segunda etapa do fluxo de filtragem propôs a aplicação dos seguintes critérios de exclusão:

1. capítulos de livros;
2. livros;
3. artigos oriundos de revisões de literatura;
4. artigos que não produziram resultados relacionados às palavras-chave “collaboration” e “decision support”;
5. artigos não publicados em periódicos.

E também, de critérios de inclusão:

1. artigos publicados em periódicos;
2. artigos que produziram resultados práticos relacionados às palavras-chave “collaboration” e “decision support”.

Após a aplicação deste filtro, houve uma redução para 265 artigos. O próximo passo envolveu a leitura dos metadados para selecionar apenas os estudos que estivessem diretamente relacionados ao contexto da pesquisa, restando ainda 81 artigos a serem analisados. Posteriormente, foi realizada a leitura integral desses 81 artigos restantes para efetuar uma nova seleção.

Em um estágio intermediário da revisão, devido ao tamanho considerável e à qualidade da amostra, optou-se por responder às perguntas de pesquisa PP1 e PP2 antes de selecionar os 16 artigos finais que responderiam às perguntas de pesquisa PP3 e PP4.

3.3 Resultados

Para ajudar a responder de forma visual a PP1 (**Qual a distribuição dos estudos ao longo dos anos?**), gerou-se o gráfico, ilustrado pela Figura 3.2, que mostra um aumento de resultados relevantes a partir dos anos 2006, com uma média de aproximadamente 4,267 publicações por ano até o ano de 2022, de acordo com os critérios deste MSL.

Portanto há a confiança de que trata-se de um assunto relevante ainda muito estudado pela academia.

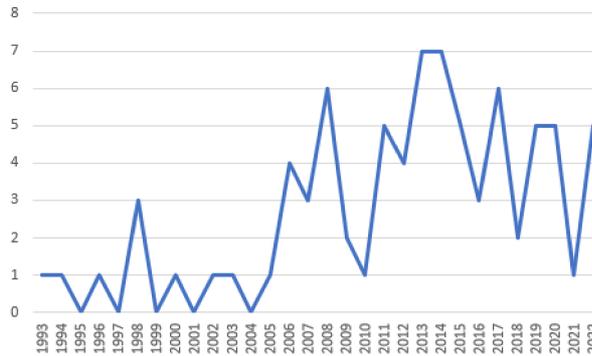


Figura 3.2: Distribuição dos estudos ao longo dos anos.

Para auxiliar na resposta visual à PP2 (**Qual a distribuição dos estudos de acordo com o contexto?**), o gráfico apresentado na Figura 3.3 demonstra que 86% dos artigos retornados neste MSL, se dividem principalmente em quatro áreas: Manutenção de Máquinas, Organizações, Projetos de Engenharia e Medicina.

O setor da medicina é amplamente explorado devido à abundância de dados heterogêneos relacionados a pacientes e doenças, muitas vezes distribuídos geograficamente. A unificação desses dados é vista como benéfica tanto para os profissionais de saúde quanto para os pacientes.

Os setores de Manutenção de Máquinas, Organizações e Projetos de Engenharia compartilham objetivos semelhantes com este estudo, buscando organizar o conhecimento de seus funcionários para reutilização em diferentes contextos e valorização como ativos intangíveis.

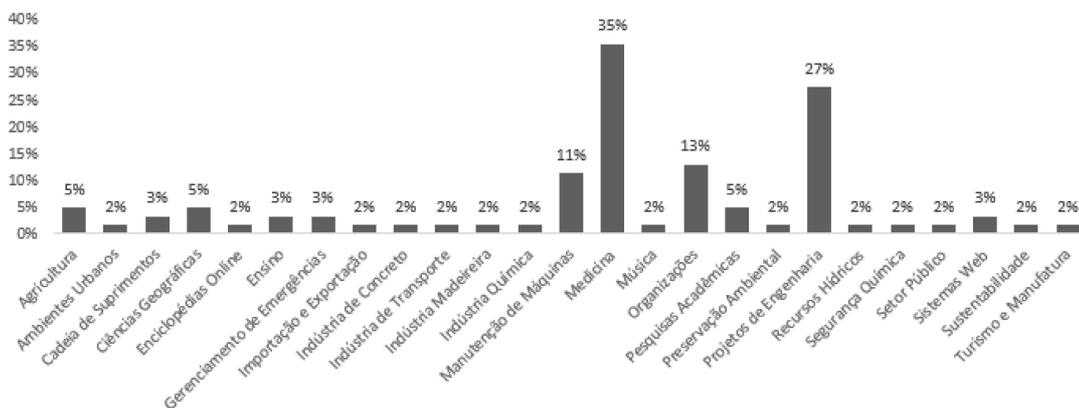


Figura 3.3: Distribuição dos estudos de acordo com contextos.

Analisando a resposta à PP2 a partir da perspectiva dos setores econômicos, como ilustrado na Figura 3.4, fica evidente que o setor primário, ao qual a indústria de extração mineral pertence, não apresentou resultados relevantes. Por outro lado, observa-se que o setor secundário, que abrange diversas atividades industriais, oferece resultados relevantes.

Essa discrepância é intrigante, uma vez que grande parte das indústrias do setor secundário depende das matérias-primas extraídas pelo setor primário. Isso sugere a existência de uma lacuna de estudos acadêmicos neste setor, ou, no mínimo, uma falta de exploração do processamento do conhecimento semântico para promover o suporte à tomada de decisão.

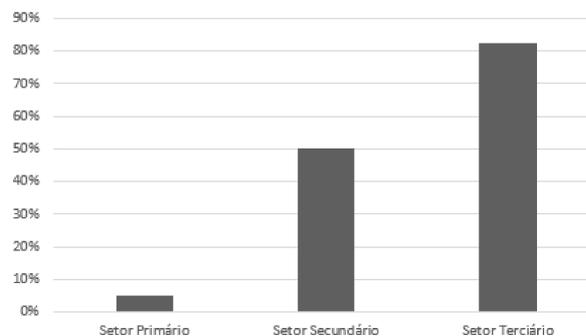


Figura 3.4: Distribuição dos estudos de acordo com os setores da economia.

A Tabela 3.2 compila as respostas relacionadas à PP3 (**Quais ferramentas ou ecossistemas de software baseados em conhecimento ou que promovem suporte à decisão são utilizados?**) e PP4 (**Quais os métodos de avaliação para as soluções dos estudos?**).

Dos 16 estudos mapeados, 56% utilizam ontologias como ferramentas para processamento de dados semânticos, seguidos por 25% que fazem uso de mapeamento de banco de dados e 19% que empregam grafos de conhecimento, ou seja representam o conhecimento de um domínio na forma de rede.

O mapeamento de banco de dados tem como principal objetivo associar objetos às tabelas de um banco de dados, garantindo a persistência dos dados, integridade referencial e eficiência nas operações de leitura e escrita. Já a busca em grafos do conhecimento visa explorar e recuperar informações de grafos interconectados para obter informações contextualizadas e significativas. Essas ferramentas são abordagens distintas e devem ser

Tabela 3.2: Compilado de respostas a PP3 e PP4

Artigo	Resposta a PP3	Resposta a PP4
German et al. (2009)	Mapeamento de Banco de Dados	Estatística de conversão
Afacan, Demirkan (2011)	Ontologia	Avaliação de usuário
Ouertani et al. (2011)	Mapeamento de Banco de Dados	Estudo de caso
Chang, Tsai (2013)	Mapeamento de Banco de Dados	Estudo de caso
Doumbouya et al. (2015)	Grafo de Conhecimento	Confrontação com taxonomia
Ruiz et al. (2015)	Ontologia	Estudo de caso
Baumeister, Striffler (2015)	Ontologia	Estudo de caso
Afzal et al. (2017)	Mapeamento de Banco de Dados	Estatística de conversão
Peng et al. (2017)	Ontologia	Estudo de caso
Zhang et al. (2017)	Ontologia	Estatística de conversão
Doumbouya et al. (2018)	Grafo de Conhecimento	Estudo de caso
Shahinmoghadam et al. (2018)	Ontologia	Estudo de caso
Watróbski (2019)	Ontologia	Estudo de caso
Garcia, Vivacqua (2019)	Ontologia	Estudo de caso
Guo et al. (2022)	Grafo de Conhecimento	Estudo de caso
Spoladore, Pessot (2022)	Ontologia	Estudo de caso

utilizadas dependendo do contexto, para melhor geração de resultados.

Em relação aos métodos de avaliação ou validação, 69% dos estudos apresentam algum tipo de estudo de caso, no qual a solução proposta é testada em situações reais. Em seguida, 19% utilizam estatísticas de conversão, comparando as soluções propostas com resultados conhecidos. Além disso, 6% dos estudos realizam comparações com taxonomias existentes, e outros 6% envolvem avaliações de usuários finais.

Esses métodos diferem em termos de natureza dos dados, abordagem metodológica, objetivo primário e contexto de aplicação. Enquanto o estudo de caso foca em dados qualitativos e uma compreensão aprofundada, as estatísticas de conversão são quantitativas e buscam medir o sucesso quantitativo. A confrontação com taxonomia organiza dados de maneira sistemática, e a avaliação do usuário busca compreender as percepções e necessidades dos usuários, orientando melhorias em produtos e serviços.

3.4 Trabalhos Relacionados

Esta Subseção tem por finalidade explicar como os trabalhos relacionados pela Tabela 3.2 contribuíram para a construção da solução proposta nesta dissertação.

German et al. (2009) descreveram e avaliaram um *framework* destinado a conectar sistemas de suporte à decisão médica baseados em conhecimento a várias bases de dados clínicas, empregando padrões de esquemas e vocabulários médicos. Esse método engloba um conjunto de ferramentas para integrar termos e unidades padronizadas nas bases de conhecimento, além de um conjunto de métodos e ferramentas para mapear os esquemas das bases de dados locais com os termos e unidades padronizados. Essa integração é realizada por meio de três abordagens: seleção de um vocabulário, um termo-chave e uma unidade de medida padronizados. Bem como apresentado por Afzal et al. (2017) e Doumbouya et al. (2018) este é um outro estudo que busca correlação de termos para formar uma base de conhecimento mais robusta. Por esta dissertação tratar de relatórios com campos de texto livre, a ontologia deverá ser capaz de fornecer meios para facilitar mapeamentos e correlacionamentos.

Afacan, Demirkan (2011) apresentam um modelo baseado em ontologia para lidar com o conhecimento específico do domínio do design, fornecendo definições formais, relações semânticas e inferências automáticas sobre os conceitos do design. Eles então desenvolveram um *plug-in* para o software SketchUp, permitindo designer acessarem e usarem o conhecimento do design. Para avaliar o desenvolvimento, os autores aplicaram um questionário para os usuários avaliassem a ferramenta desenvolvida nos quesitos utilidade, clareza, eficiência, suporte e satisfação. Eles também coletaram dados observacionais e comentários sobre o uso geral da ferramenta. Este trabalho contribui não com o desenrolar da solução, mas sim com seu método avaliativo. Como busca-se representar a realidade de um domínio específico, é necessário buscar a validação dos especialistas que de fato vivenciam a rotina de manutenção.

Ouertani et al. (2011) apresentam solução para problemas e desafios sobre rastreabilidade e compartilhamento de conhecimento durante o desenvolvimento de produto, baseado em seis perguntas: o que, quem, onde, como e por que. Gerando um banco de dados para avaliar o impacto e a propagação das mudanças solicitadas, como para

recuperar justificativas e raciocínio por trás das decisões anteriores. Essas seis perguntas são fundamentais quando se está lidando com o armazenamento lógico de execução de atividades e não pode ser negligenciada por esta dissertação.

Chang, Tsai (2013) propõem um método de aquisição de conhecimento que combina indexação semântica e análise de agrupamento. Os autores revisam os modelos de aquisição do conhecimento baseados em indexação conceitual e semântica, técnicas para identificar conceitos ocultos ou frequentes em um texto. Para avaliação da solução proposta, foi aplicado um questionário contendo quesitos sobre funcionalidade, usabilidade e capacidade. Este estudo mostra que quando é necessário recuperar conhecimento para utilizá-lo em uma ontologia, ainda é necessário um mapeamento de banco de dados, mostrando o quanto é importante a realização de, pelo menos, um teste simples neste quesito.

Doumbouya et al. (2015) apresentam uma técnica para formalizar e identificar erros médicos cometidos após um procedimento médico remoto, usando o modelo de argumentação proposto por Phan Mihn Dung, ou a argumentação de Dung, permitindo a análise de relações entre argumentos para determinar sua aceitabilidade e relevância em um determinado contexto. Este artigo mostra não como de fato construir o conhecimento em si, mas como utilizá-lo de maneira correta para gerar inferências.

Ruiz et al. (2015) apresentam um *framework* integrado para analisar as perspectivas de objetivo e processo de negócio em sistemas de informação, baseado em uma análise ontológica, uma integração de metamodelos, cenários de aplicação, suporte ferramental e validação empírica. Implementaram um protótipo para apoiar a modelagem e a avaliação foi realizada utilizando um grupo focal de estudantes que puderam atestar que as aplicações de diretrizes melhora significativamente a completude do modelo em relação à aplicação de critérios subjetivos. Nos moldes de hoje, as soluções para os problemas encontrados nos componentes eletrônicos é subjetiva, desconsiderando dados históricos.

Baumeister, Striffler (2015) propõem uma abordagem para o desenvolvimento e manutenção de sistemas de suporte à decisão, integrando tecnologias semânticas por meio da combinação de duas ontologias. O foco central deste trabalho era oferecer suporte em tomadas de decisão complexas e detalhadas, particularmente em questões relacionadas

a substâncias químicas. Além de facilitar a tomada de decisões, o sistema proposto se destaca por sua capacidade de documentar todas as ações e decisões realizadas, assegurando transparência na origem das informações. Com vistas a um futuro sistema derivado desta dissertação, é crucial garantir armazenamentos públicos para a transparência e rastreabilidade, essencial para resolver possíveis impasses de soluções e também para viabilizar auditorias internas.

Afzal et al. (2017) propõe uma metodologia automatizada de aquisição de conhecimento com um modelo de conhecimento compreensível para o tratamento do câncer. O modelo usa dados clínicos extraídos de documentos eletrônicos de saúde para recomendar e prever o plano de tratamento adequado para pacientes com câncer de cabeça e pescoço. O artigo discute técnicas para lidar com dados ausentes, desbalanceados e ruidosos, e compara diferentes métodos de aprendizado de máquina para construir o modelo de previsão, como árvores de decisão, regras alternantes e redes neurais. Ainda que não aplicado nesta fase do estudo, os relatório contém falhas de preenchimento, gerando a necessidade que prováveis preenchimentos sejam previstos para melhor armazenamento e relacionamento problema-solução.

Peng et al. (2017) elaboraram um sistema colaborativo para capturar e reutilizar o conhecimento em design com um modelo de representação, propondo um método para calcular a similaridade semântica entre os requisitos e os conhecimentos baseado em uma medida de distância taxonômica entre nós da árvore semântica. Tal similaridade é utilizada para recuperar casos de design relevantes a partir de uma base de conhecimento. Com isso, também é descrita uma abordagem baseada em Bayes para calcular mudanças de estado, ou seja, calcula a probabilidade posterior de uma atividade de design com base em uma probabilidade anterior e uma função de verossimilhança derivada de um modelo estatístico para dados observados, ajudando os designers a decidir qual atividade deve ser tomada para ajustar os parâmetros sob um determinado estado. Este artigo também promove ideias para a estruturação de um futuro sistema de suporte a decisão que pode surgir desta dissertação.

Zhang et al. (2017) desenvolveram um *framework* ontológico que integra dados do paciente, conhecimento médico do domínio e critérios de avaliação do paciente. Um

sistema de apoio à decisão clínica foi desenvolvido para implementar esse *framework* e selecionar e adaptar protocolos de avaliação padrão para as condições pessoais do paciente. O método foi avaliado no estudo de caso de acompanhamento de pacientes com diabetes tipo 2. O *framework* ontológico foi instanciado usando dados reais de 115.477 registros de acompanhamento de 36.162 pacientes com diabetes tipo 2. Os critérios de avaliação foram automaticamente selecionados e adaptados para as particularidades de cada paciente. Os resultados da avaliação foram gerados como uma tipagem geral da condição geral do paciente e uma pontuação detalhada para cada critério, fornecendo indicadores importantes ao gerente de caso sobre possíveis julgamentos inadequados, além de aumentar a conscientização do paciente sobre seus resultados de controle da doença. Já este estudo ilustra, de uma forma geral e clara, como um sistema de suporte a decisão baseado em ontologia deve ser e como poderá ser testado e validado.

Doumbouya et al. (2018) apresenta um modelo de argumentação baseado em grafos conceituais para verificar a consistência e a validade dos processos colaborativos em telemedicina, propondo formas de atribuir pesos aos argumentos com base nas competências dos profissionais da saúde e na credibilidade das fontes de informação, usados para identificar resoluções boas ou ruins. Com isso refletiu-se sobre a necessidade de classificar as soluções de manutenção de acordo com critérios de credibilidade correlacionados a ao tempo de experiência dos mantenedores. Para a construção de uma ontologia em si não é necessário levantar essa correlação, porém quando se pensa nela sendo uma máquina de inferência, tem-se se disponibilizar, desde já, meios para que seja feita uma correlação adequada.

Shahinmoghdam et al. (2018) apresentam uma abordagem que utiliza ferramentas da web semântica e ontologias para representar o conhecimento causal de especialistas sobre as mudanças em diferentes contextos. O processo de contextualização da informação causal é baseado em duas formas de raciocínio: processos conscientes da situação, que visam fornecer recomendações contextualizadas adaptadas às dinâmicas internas e externas de um projeto específico e processos conscientes da perspectiva, que visam incorporar a visão sobre a causalidade das mudanças. Esses processos utilizam inferências baseadas nas linguagens OWL e SWRL para reconhecer as situações causas prospectivas e

admissíveis, bem como o contexto da causalidade para cada explicação. Neste artigo fica bem clara a utilização de regras SWRL para gerar as inferências, ferramenta já disponível no *software* Protegé, que poderá ser utilizada para validação.

Watróbski (2019) propõe uma abordagem baseada em ontologias para modelar e processar o conhecimento do domínio de forma formal e semântica. O autor ilustra o processo de construção e aplicação de uma ontologia para representar problemas de decisão em gestão sustentável. Ele usa o Protégé como ferramenta de edição e raciocínio, e mostra como a ontologia pode ajudar a encontrar informações relevantes sobre estudos de caso selecionados. Um artigo que mostra de forma completa como elaborar e utilizar um sistema de suporte a decisão baseado em ontologia pode ajudar a inferir sobre informações. Além disso, também utiliza a ferramenta Protegé para o desenvolvimento.

Garcia, Vivacqua (2019) apresentam um estudo de caso sobre o processo de construção de um sistema baseado em conhecimento para diagnosticar falhas em sondas de perfuração de petróleo onshore. O processo envolveu um grupo de especialistas com experiência variada, que participaram de reuniões de aquisição de conhecimento durante um período de 6 meses. Após cada reunião, as mudanças na ontologia foram verificadas por meio de um questionário online, que levou a um acordo consensual ou à necessidade de uma nova reunião. O artigo tem três objetivos principais: apresentar o processo de construção da ontologia; destacar uma situação particular em que os resultados foram inadequados; e mostrar como o sistema de explicação ajudou os especialistas e os engenheiros de conhecimento a identificar lacunas. Assim como outros listados neste mapeamento, este artigo mostra a importância de manter contato com os especialistas para que a representação do domínio esteja congruente com a realidade e satisfaz todos os envolvidos.

Guo et al. (2022) apresenta um método para construir uma base de conhecimento sobre processos de usinagem a partir de um grafo de conhecimento, utilizando um modelo baseado em função-comportamento-estado para classificar e anotar o conhecimento extraído de textos de processos. O método revelado pelo artigo propõe reduzir a redundância do conhecimento extraído de textos de processos que possam conter informações repetitivas, confusas ou conflitantes. Tais características se assemelham bas-

tante com o as das informações vindas dos relatórios de manutenção. Dar luz a possibilidade de extrair a repetição, confusão e até mesmo preencher lacunas deve ser um dos pontos de sistemas que utilizem a ontologia aqui gerada como máquina de inferência.

Spoladore, Pessot (2022) discute o papel das ontologias como facilitadores da transformação digital dos processos de gestão do conhecimento nas empresas, especialmente no contexto da Indústria 4.0 e descreve um estudo de caso experimental realizado com 21 participantes empregados, onde desenvolveram ontologias para três domínios diferentes usando três metodologias ágeis. O estudo avalia as características das metodologias em termos de processo e resultado, considerando as opiniões dos participantes e a qualidade das ontologias produzidas. Este artigo ajuda a entender melhor qual o papel dos especialistas na avaliação de um desenvolvimento e como eles podem avaliar.

Após a conclusão do MSL, foram identificados artigos que também poderiam contribuir significativamente para o enriquecimento desta dissertação, especialmente no que se refere à aquisição de conhecimento.

No estudo realizado por **Teixeira et al. (2021)**, várias etapas são percorridas para a aquisição de conhecimento no domínio da energia elétrica, visando a subsequente criação de uma ontologia. A aquisição de conhecimento é um passo fundamental na construção de ontologias de alta qualidade, uma vez que envolve a elicitación e reunião de conhecimento especializado, organizando-o e reformatando-o. Esse conhecimento adquirido é então traduzido em um formato apropriado para artefatos computacionais, permitindo a criação de representações mais precisas e a redução de ambiguidades e aspectos epistemológicos. Isso possibilita que as máquinas processem o conhecimento de maneira mais precisa.

Na validação desse estudo, foram identificados erros de baixo impacto, destacando a importância de realizar entrevistas com especialistas para elucidar os problemas antes de recorrer a materiais de referência. Esse achado está alinhado com o artigo de **Coelho, Almeida (2012)**, que enfatiza a construção de ontologias com o objetivo de estabelecer um vocabulário único. Identificar membros da comunidade ligados ao domínio em estudo é crucial para coletar termos relevantes que sejam significativos para eles.

3.5 Considerações Finais do Capítulo

O mapeamento sistemático da literatura apresentado neste capítulo foi a primeira atividade realizada, antecedendo a escolha do tema final da dissertação, porém ciente do contexto e suas implicações de processamento semântico. Por este motivo, o MSL buscou um panorama de como essas implicações eram processadas e validadas pelos acadêmicos do mundo.

As primeiras perguntas foram pensadas para descobrir se as abordagens de processamento semântico permaneciam sendo aplicadas nos anos mais recentes ou se já era um assunto que havia caído em desuso, observando-se que, dentre os estudos que foram selecionados, o gráfico mostra um movimento de aumento de publicações a partir do ano 2006 e apesar da oscilação, continua com a mesma média de publicação até o ano de 2022. Comprovando assim a sua atualidade.

Como esta dissertação está inserida no contexto de uma empresa da indústria mineradora, setor primário da economia, a segunda pergunta buscava o retrato de como está a relação da academia com a indústria, comprovando que indústrias do setor primário, por vezes mais fechadas e céticas quanto ao desenvolvimento acadêmico, não possuem proporções altas de publicação como o setor secundário e terciário.

As duas últimas perguntas buscavam uma validação da hipótese de que uma solução de processamento semântico com estudo de caso eram as alternativas mais aplicadas pela academia, chegando-se ao resultado de que aproximadamente 56% utilizam ontologias para processamentos semânticos e 69% realizam estudos de caso para avaliação ou validação daquilo que foi desenvolvido. Confirmando, então, a hipótese.

Além de fornecer respostas para as questões de pesquisa, os artigos selecionados proporcionaram *insights* valiosos para o desenvolvimento da ontologia em si, assim como para sua futura aplicação em trabalhos decorrentes deste projeto. Após a leitura dos artigos, a escolha pela utilização de ontologias foi motivada pela busca de uma abordagem que já nascesse proporcionando interoperabilidade entre sistemas. Isso se justifica pelo fato de ambientes corporativos poderem receber entradas de dados variadas. Além disso, a decisão de utilizar ontologias visa explicitar de forma clara os significados dos dados. Optou-se por empregar a ferramenta Protégé após a realização do MSL, por entender sua

robustez e a capacidade de adicionar ou até mesmo criar *plug-ins* para o desenvolvimento de uma ontologia.

Com tamanhos resultados, os próximos capítulos descreverão a construção e validação de uma ontologia para lidar com um domínio inserido na indústria primária.

4 OMMEL - Desenvolvimento do Artefato Ontológico

*Após uma extensa contextualização e fundamentação teórica apresentada no Capítulo 2, chegamos ao ponto crucial em que as descobertas e provenientes da atividade documentada no Capítulo 3 são abordados. Neste ponto, todo o processo de desenvolvimento do artefato ontológico OMMEL (acrônimo para *Ontology for Maintenance Management of an Electronics Laboratory*), é detalhadamente descrito, iniciando com a explicação das metodologias utilizadas. As seções subsequentes exploram cada fase da construção de forma abrangente e eficaz.*

4.1 Introdução

Fazendo referência ao Capítulo 2, é explicado que a utilização de uma ontologia de fundamentação tem como objetivo não apenas padronizar as ontologias de domínio conforme os princípios metafísicos, mas também evitar a proliferação indiscriminada de termos. Considerando essa questão, optou-se pela adoção do idioma inglês, uma vez que, de acordo com Eberhard et al. (2022), ainda é a língua mais amplamente falada no mundo. Além disso, essa escolha pode facilitar um eventual processo de disseminação do artefato criado no futuro.

No entanto, é necessário, desde já, esclarecer que os valores de entrada de tal ontologia serão preservados tais quais são encontrados nos relatórios, portanto há de se notar palavras grafadas em língua portuguesa, inglesa e, inclusive, com erros de grafia.

É importante ressaltar que OMMEL é um acrônimo para *Ontology for Maintenance Management of an Electronics Laboratory*. Além disso, para assegurar que o acrônimo OMMEL não possuísse conotações inadequadas em outros idiomas, ao utilizar a ferramenta Google Tradutor, foi identificado como de origem finlandesa, significando "ponto". Portanto, trata-se de um nome que reflete adequadamente a finalidade da criação

e aplicação de ontologias na área da ciência da computação e informação, visto que, conforme mencionado por Teixeira et al. (2021), estas devem ter baixa carga de ambiguidade e epistemológica.

4.1.1 Metodologias Utilizadas

Apesar de a dissertação surgir de um problema específico enfrentado por uma organização industrial, a adoção de metodologias mais abrangentes pode negligenciar detalhes intrínsecos aos serviços de manutenção eletrônica. Ontologias genéricas, por sua vez, frequentemente possuem fases rígidas e sequenciais, o que pode resultar em lentidão na construção da ontologia, especialmente quando os envolvidos dispõem de um curto tempo para colaboração.

Por esse motivo, a escolha recaiu sobre a metodologia *Methontology*, que apresenta as fases essenciais a serem percorridas, deixando a critério do desenvolvedor da ontologia o momento e a forma como serão executadas. Essas sete fases são descritas como:

1. **Especificação de Requisitos:** fase focada na enumeração dos requisitos relacionados à ontologia;
2. **Aquisição do Conhecimento:** fase voltada para a extração de termos necessários à construção da ontologia, usando a metodologia mais apropriada ao contexto;
3. **Conceitualização:** fase centrada na organização das informações do domínio e na estruturação do conhecimento;
4. **Integração:** fase que complementa a de conceitualização e antecede a implementação. Garante que o desenvolvedor da nova ontologia buscará uma ontologia de base para realizar a integração, evitando a proliferação indiscriminada de termos;
5. **Implementação:** fase em que o desenvolvedor codifica efetivamente a ontologia em uma linguagem formal, utilizando uma plataforma adequada;
6. **Avaliação:** fase destinada a confirmar se a ontologia realmente representa o domínio proposto, verificando a validação, completude e correção da sua implementação;

7. **Documentação:** é uma fase que pode ocorrer paralelamente às outras etapas ou de maneira independente, ficando a critério do próprio desenvolvedor.

Devido à considerável flexibilidade permitida na construção da ontologia pela metodologia *Methontology*, embora a necessidade de documentação seja estabelecida, não há uma especificação clara sobre o formato ou padrão dessa documentação. Nesse contexto, a metodologia *OntoForInfoScience* destaca a importância da documentação como um dos objetivos fundamentais, o que está alinhado com a abordagem da *Methontology* devido ao fato de ter sua origem também nesta metodologia. Portanto, tal complementação guiará o desenvolvimento da ontologia OMMEL.

A metodologia descrita por Fernandez-Lopez et al. (1997) propõe o desenvolvimento de um glossário de termos que englobe conceitos, instâncias, verbos e propriedades. Posteriormente, é sugerido fazer uma distinção entre os termos que representam conceitos e verbos. Isso possibilita a subdivisão em novas representações, tais como: em relação aos conceitos, a criação de um dicionário de dados, tabelas de atributos para instâncias e classes, tabelas de constantes, tabelas de instâncias e árvores de atributos de classificação; em relação aos verbos, a configuração de um dicionário de verbos e tabela de condições. Todas essas representações convergem para a construção de tabelas de fórmulas e tabela de regras.

Já o autor Mendonça (2015), como ilustrado pela Figura 4.1, elaborou a geração de Glossários, Dicionários e Tabelas em duas etapas. Etapa 2 conta com a geração de Glossário de Conceitos, Glossário de Verbos e Glossário de Relações ainda na Fase 2 de Aquisição do Conhecimento, onde são elencados, como os próprios nomes dizem, todos os conceitos, verbos e relações extraídas das fontes de conhecimento.

A Fase de Conceitualização elabora os artefatos documentais previstos pela Etapa 3, resultantes da expansão dos elementos listados na Etapa 2. O Dicionário de Conceitos, derivado do Glossário de conceitos, descreve o significado de cada conceito dentro do contexto em questão. Na Tabela de Conceitos e Valores, são apresentados exemplos dos valores que esses conceitos podem assumir como instâncias.

Seguindo essa linha de desenvolvimento, se cada conceito possui propriedades bem definidas (como ocorre no contexto de hematologia no âmbito do *OntoForInfoScience*),

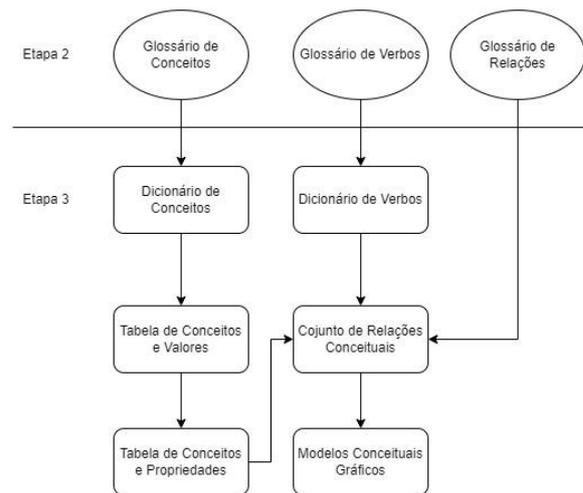


Figura 4.1: Adaptado de Mendonça (2015).

essas propriedades devem ser relacionadas e documentadas na Tabela de Conceitos e Propriedades.

A partir do Glossário de Verbos, similarmente ao Dicionário de Conceitos, seria elaborado o Dicionário de Verbos. Esse dicionário seria então unido, no próximo documento, ao Conjunto de Relações Conceituais. Este último documento estabelece relações entre conceitos e suas propriedades, transformando-os em sujeito e predicado, conectados por verbos.

No entanto, ao longo da elaboração destes artefatos, observou-se que a estrutura proposta pela metodologia OntoForInfoScience, devido ter originado para representação do domínio da hematologia, geraria tabelas extensas, repetitivas e por vezes inúteis.

Para a construção da ontologia OMMEL, como representado pela Figura 4.2, a fase de Aquisição do Conhecimento resulta apenas no Glossário de Conceitos, devido à origem primária dos conceitos extraídos dos relatórios dispostos em planilhas. Embora a fase de Aquisição do Conhecimento pudesse gerar uma lista de verbos por meio de entrevistas com especialistas ou outras metodologias, a fim de evitar redundâncias, optou-se por apresentar a Tabela de Verbos e Relações e a Tabela de Conceitos e Valores na etapa de Conceitualização.

O desenvolvimento do modelo conceitual gráfico inicia na Fase 2 de Conceitualização e prossegue para a Fase 3 de Integração com uma ontologia de fundamentação. Embora o desenvolvedor tenha a flexibilidade de escolher o momento para realizar a mo-

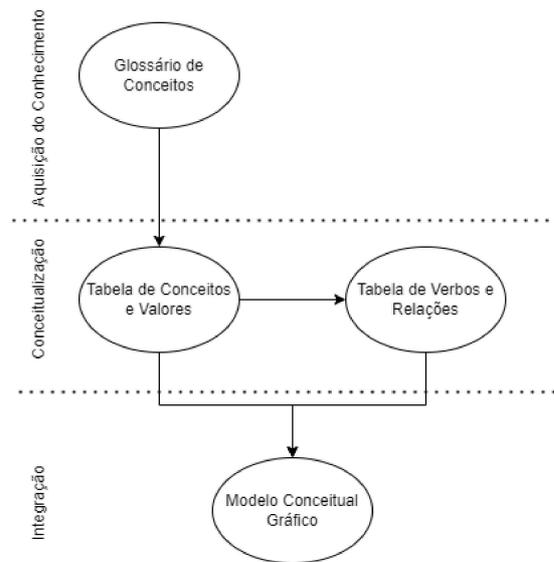


Figura 4.2: Artefatos documentais gerados a partir do desenvolvimento da ontologia OMMEL.

delagem, a formalização da criação do modelo conceitual da nova ontologia na fase de Integração garante que essa modelagem já surja integrada conforme os princípios metafísicos preestabelecidos.

Em relação à estrutura dos capítulos desta dissertação, é importante ressaltar que a sexta etapa, a validação, está detalhada no Capítulo 6. Enquanto a sétima etapa, a documentação, é abordada especificamente em ambos Capítulos 4 e 6.

4.2 Fase 1 - Especificação de Requisitos

Tal como no início de um projeto ou desenvolvimento de *software*, é necessário especificar o domínio e levantar os requisitos necessários com os quais irá se trabalhar. Sendo assim, temos como resultado os dados apresentados pela Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Especificação de Requisitos

DOMÍNIO

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Especificação de Requisitos

Gestão da manutenção de componentes eletrônicos de equipamentos de construção pesada.
IMPLEMENTADO POR
Luiza Bartels de Oliveira.
PROPÓSITO
Ontologia para representar a estrutura e o funcionamento do laboratório de uma empresa especializada na manutenção de componentes eletrônicos de equipamentos de construção pesada. Esta ontologia será empregada como uma ferramenta de inferência por sistemas que serão consultados tanto pelos técnicos do laboratório quanto por profissionais de outros departamentos da mesma empresa. O objetivo é extrair conhecimento diversificado, como soluções para falhas em componentes específicos, fornecendo um recurso abrangente para a resolução de problemas.
NÍVEL DE FORMALIDADE
Formal.
ESCOPO

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Especificação de Requisitos

Um laboratório recebe ordens de serviço relacionadas à manutenção de componentes eletrônicos, os quais podem pertencer a um equipamento específico ou não e estão implantados em obras de construção pesada ou mineração. Esses componentes enfrentam falhas que são investigadas e avaliadas, resultando em um status de "aprovado" ou "reprovado". Além disso, são registrados detalhes sobre a descrição da falha e as soluções adotadas. No que diz respeito a informações específicas sobre o componente, é possível obter dados como seu estado no momento da chegada para manutenção, número de série, número de parte, código interno, o tipo de equipamento no qual é utilizado e a descrição do componente. Quanto aos recursos envolvidos, é viável acessar o número da ordem de serviço e a data de abertura, identificar quem executou o serviço e quem aprovou a manutenção, registrar o número de horas de trabalho empregadas e verificar se foi necessária a substituição do componente eletrônico.

Lista de 144 tipos de componentes: *monitor 740B, ECM motor C32, Cartão Komatsu Statex 3 - 17FB103...*

Lista de 51 tipos de equipamentos: *Caminhão 740B Caterpillar, Caminhão 777F Caterpillar, Caminhão Komatsu 730E...*

Informações sobre: *data de abertura de ordem de serviço, início e término do serviço, executante e aprovador, local de mobilização do equipamento, número de série, número de parte, diagnóstico, descrição e solução do problema, situação final e estado de recebimento do componente.*

ORIGENS DO CONHECIMENTO

Relatórios reais de manutenção gerados entre o período de junho de 2021 e outubro de 2022 e entrevistas não-estruturadas com os especialistas do laboratório.

Fim da tabela

Fonte: Autora.

4.3 Fase 2 - Aquisição do Conhecimento

A fase de aquisição do conhecimento (ou AC) é considerada independente. Geralmente, ocorre em paralelo com a primeira fase de especificação dos requisitos, embora não seja totalmente conclusiva antes do início da terceira etapa de conceitualização. No entanto, é complementar de forma progressivamente abrangente a todas as fases subsequentes do processo.

Nesta etapa, é necessário empregar técnicas para a aquisição e extração do conhecimento. De acordo com Mendonça (2015), as abordagens mais comuns utilizadas na construção de ontologias incluem: (1) análise informal de textos; (2) análise formal de textos; (3) entrevistas estruturadas, semi-estruturadas ou não-estruturadas; (4) brainstorming; (5) uso de métodos estatísticos e/ou linguísticos; (6) aplicação de ferramentas automatizadas.

Portanto, para estabelecer a base de conhecimento para a construção da OMMEL, foram utilizados relatórios oficiais de manutenção gerados no período entre junho de 2021 e outubro de 2022. A escolha de iniciar a coleta a partir de junho de 2021, em vez de agosto de 2017, data de fundação do laboratório, deve-se ao fato de que a decisão de armazenar digitalmente os relatórios foi tomada quatro anos após a fundação. Quanto à data final, outubro de 2022 foi definido para abranger um ciclo de vida completo da OMMEL e permitir a inclusão de conhecimentos posteriores em um segundo ciclo.

A Figura 4.3 ilustra o documento, criado em um *software* proprietário, que é preenchido pelos responsáveis pela execução e aprovação dos serviços de manutenção no laboratório, ou seja, pelos especialistas envolvidos, totalizando quatro pessoas. Esse documento formaliza a execução da manutenção e é adicionalmente impresso e fisicamente encaminhado junto ao componente a ser mantido, de volta ao seu local de origem.

Devido à sua relevância, optou-se pela análise formal desses relatórios, uma vez que já contêm as informações consideradas essenciais pelos especialistas, dado que foram eles mesmos a elaborar esse padrão de relatório. No entanto, apesar da padronização, durante a análise, foram identificados erros de preenchimento, em alguns casos cometidos pelos especialistas e, em outros, replicados, resultando na presença de informações incorretas devido a falta de critérios analíticos.

RELATÓRIO DE SERVIÇO - LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA				FORM_XXX	
				Revisão: 01	
				Data: 06/21	
MATERIAL		REQUISIÇÃO		MANUTENÇÃO	
COD. SAP		DATA ABERTURA		DATA DE INÍCIO	
DESCRIÇÃO		SOLICITANTE		DATA DE CONCLUSÃO	
SÉRIE		REQUISIÇÃO		RESPONSÁVEL	
PARTNUMBER		OPERAÇÃO		HORA TRABALHADA	
EQUIPAMENTO		FROTA		() APROVADO () REPROVADO	
1. MOTIVO DA SOLICITAÇÃO					
A) DESCREVA O DEFEITO APRESENTADO.					
2. CONDIÇÕES DO EQUIPAMENTO RECEBIDO					
A) ITEM FOI RECEBIDO DEVIDAMENTE EMBALADO?		() SIM () NÃO			
B) RECEBIDO COM ACESSÓRIOS?		() SIM () NÃO			
C) DESCREVA AS CONDIÇÕES OBSERVADAS APÓS INSPEÇÃO VISUAL PRELIMINAR.		() SUJO () QUEBRADO () FALTANDO COMPONENTE			
3. DIAGNÓSTICO E SOLUÇÕES					
A) DESCREVA O DIAGNÓSTICO DO ITEM.		() ATUALIZAÇÃO DE SOFTWARE () FALHA ELETRÔNICA			
4. DADOS DE REPARO					
A) FOI NECESSÁRIO TROCA DE COMPONENTES?		() SIM () NÃO			
B) DESCREVA O QUE FOI REALIZADO.					
C) DESCREVA A CONDIÇÃO DO ITEM APÓS REALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS		() LIBERADO PARA USO () EQUIPAMENTO DESTINADO A SUCATA			
OBSERVAÇÕES					
Foi realizado o teste em bancada, porém é necessário testes funcionais em campo e o retorno de vocês é fundamental para a equipe do laboratório de eletrônica quanto ao funcionamento do equipamento. Para melhorarmos o processo de identificação de falhas e tornar a manutenção mais acertiva. Obrigado!					
Assinatura do Aprovador	Nome:				
	Matrícula:				
	RC:				
	MATERIAL:				
	PN:				
	APLICAÇÃO:				

Figura 4.3: Exemplo de relatório a ser preenchido e disponibilizado para aquisição do conhecimento.

Na tentativa de realizar uma filtragem de tais erros, foram conduzidas entrevistas não estruturadas e pontuais para esclarecer dúvidas relacionadas a termos específicos com os especialistas disponíveis. O objetivo foi alcançar a concisão, garantindo que todos os termos fossem relevantes para o domínio, evitando duplicidades. Além disso, buscou-se atingir uma completude parcial, relacionada à abrangência e ao nível de detalhamento dos termos, e assegurar consistência, garantindo que todos os termos e seus significados estivessem coerentes com o domínio.

As Figuras 4.4 e 4.5 ilustram situações em que a realização de entrevistas não

estruturadas com os especialistas foi necessária para determinar se conjuntos de dados identificavam o mesmo Tipo de Componente e Número de Peça. Na Figura 4.4, apesar do Número de Peça ser o mesmo (9205333) haviam grafias diferentes para Tipo de Componente. Já na Figura 4.5 é possível observar três grafias diferentes para o mesmo Número de Peça (274-1955, 2741955-01, 274-1955-01) e duas grafias diferentes para Tipo de Componente.

Número de Peça	Tipo de Componente
9205333	CONTROLE EX-2500-5
9205333	CONTROLE ECM EX2500-5 9205333 HITACHI
9205333	MODULO EX5500 9205333 HITACHI
9205333	CONTROLE ECM EX-2500
9205333	CONTROLE ECM EX-2500
9205333	MÓDULO HITACHI EX-2500-5 mc2
9205333	MÓDULO HITACHI EX-2500-5 mc2

Figura 4.4: Exemplo de Número da Peça iguais que receberam cinco nomeclaturas para Tipo de Componente diferentes.

Número de Peça	Tipo de Componente
274-1955	ECM MOTOR C32
2741955-01	MODULO 777G 4884875 CATERPILLAR
2741955-01	MODULO 777G 4884875 CATERPILLAR
274-1955-01	ECM MOTOR C32
274-1955-01	ECM MOTOR C32

Figura 4.5: Exemplo de Número de Peça relativamente diferente que receberam nomeclaturas para Tipo de Componente diferentes.

As imagens destacadas na Figura 4.6 ilustram um erro oficialmente documentado em um dos relatórios. A Figura 4.6 (a), o *Número de Peça* 3104493 pertence ao *Tipo de Componente* que, apesar de sua grafia deverá representar a *Placa Identidade EX2500*, no entanto foi preenchido de forma incorreta para um Tipo de Componente denominado *MODULO QSK50 3654718 CUMMINS*.

Ao analisar o relatório original, como mostrado na Figura 4.6 (b), constata-se também que além do erro de correlação entre *Número de Peça* e *Tipo de Componente*, no campo Equipamento foi inserido equivocadamente o *Número de Parte* correto relacionado ao *Tipo de Componente* do *MODULO QSK50 3654718 CUMMINS*.

Número de Peça	Tipo de Componente
3104493	PLACA IDENT
3104493	PLACA IDENT CSU
3104493	MODULO QSK50 3654718 CUMMINS
3104493	PLACA IDENTIDADE EX2500

(a) Divergência entre Número de Peça e Tipo de Componente

REQUISIÇÃO	
COD. SAP	110840
DESCRIÇÃO	MODULO QSK50 3654718 CUMMINS
SÉRIE	1211026279
PARTNUMBER	3104493
EQUIPAMENTO	3654718

(b) Prova de que este foi um erro oficialmente documentado.

Figura 4.6: Exemplo de erro.

Para a elaboração das documentações exigidas pela fase de Conceitualização, aprofundadas na Seção 4.4, optou-se por aplicar exclusivamente o método de análise manual e informal de textos, conforme sugerido por Mendonça (2015). Isso se deveu à quantidade relativamente reduzida de dados a serem extraídos, em comparação com outros contextos, especialmente os relacionados ao *big data*. Além disso, a disposição dos dados em planilhas permitiu uma análise mais detalhada utilizando o próprio *software* proprietário onde foram originalmente desenvolvidos.

Tabela 4.2: Glossário de Conceitos

ID	Termo (Conceito)	Frequência
1	Data Link Adapter	1
2	Aid Box	1
3	Analogic Card	53
4	Digital Card	86
5	Electronic Control Set	10
6	Electronic Control Group	107

Continua na próxima página

Tabela 4.2 – Continuação do Glossário de Conceitos

ID	Termo (Conceito)	Frequência
7	Joystick	18
8	Electronic Control Module	30
9	ASSY Panel	33
10	Instrument Panel	16
11	ISO Panel	58
12	Relay	14
13	VMM Panel	9
14	Lubrication Timer	4
15	General Electrical System	28
16	Electronic Control Unit	75
17	Power Supply Unit	12
18	Service Order Date	555
19	Service Order Number	555
20	SAP Code	555
21	Serial Number	555
22	Part Number	555
23	Electronic Component	555
24	Start Maintenance	555
25	Finish Maintenance	555
26	Responsible	555
27	Approver	555
28	Fleet Number	555
29	Fleet	555
30	Problem	555
31	Diagnosis	555
32	Solution	555
33	Final State	555

Continua na próxima página

Tabela 4.2 – Continuação do Glossário de Conceitos

ID	Termo (Conceito)	Frequência
34	Packaging	555
35	Accessories	555
36	Conditions	555
37	Location	555

Fim da tabela

Fonte: Autora.

4.4 Fase 3 - Conceitualização

Conforme mencionado pelo autor Mendonça (2015), a etapa de conceitualização é crucial para o êxito de uma ontologia, visto que é nesse estágio que os conceitos a serem utilizados são identificados. Além disso, é o momento em que ocorre a estruturação do conhecimento.

É relevante ressaltar que, dado que a documentação usada para criar esta ontologia consiste em tabelas com campos de texto livre, a participação dos especialistas se mostrou fundamental nesta etapa. Isso possibilitou um melhor entendimento, especialmente no que diz respeito às relações entre os conceitos.

Durante o desenvolvimento desta etapa, surgiu a necessidade de considerar os termos designadores de cada célula dos documentos analisados como propriedades ou até mesmo classes que possam se tornar superclasses, caso uma divisão adicional seja necessária. Estes termos são representados no Glossário de Conceitos, conforme a Tabela 4.2, com frequências iguais a 555, uma vez que estão presentes em todos os documentos.

Devido à presença de campos de texto livre, identificou-se uma variedade de conceitos, especialmente aqueles relacionados ao tipo de componente a ser mantido, assumindo diferentes valores. Conforme destacado por Almeida (2020) no primeiro volume de sua obra, o termo "ontologia" na Ciência da Computação é empregado ao modelar a realidade e, principalmente, ao representar um domínio em linguagem lógica para viabilizar inferências automáticas. Considerando essa finalidade principal, optou-se por conceitos hiperônimos com características técnicas para assumirem os valores predominantes nas

tabelas. Dessa forma, ao consultar os relatórios oficiais de manutenção, conceitos como "Adaptador de Ligação" e "Conjunto de Controle" não serão encontrados; em seu lugar, serão utilizados os valores que serão convertidos em instâncias da ontologia.

A elaboração do dicionário de conceitos, ou seja, a inclusão de definições textuais para cada um, é considerada por Mendonça (2015) como o início efetivo da etapa de conceitualização da ontologia. Essas definições foram obtidas a partir de manuais fornecidos pelas fabricantes e, principalmente, através da colaboração dos especialistas, que contribuíram diretamente preenchendo a coluna de definições.

Como demonstrado na Seção 4.1.1, enquanto a metodologia *OntoForInfoScience* prevê a elaboração de vários documentos, neste trabalho propomos uma simplificação na geração desses artefatos, mantendo a relevância devido ao contexto representado por esta ontologia, sem exclusão ou redução de importância.

Assim, a Tabela 4.3 aprimora o Dicionário de Conceitos ao incluir uma nova coluna - a de Valores - que é preenchida com exemplos reais ou prováveis de valores associados a cada conceito. Esses valores serão convertidos em classes dentro da ontologia. Para melhorar a visualização e leitura desta dissertação, optou-se por disponibilizar tal a versão integral da Tabela 4.3 na Seção A como Tabela A.1 .

Tabela 4.3: Tabela de Conceitos e Valores

ID = 1
Conceito
Electronic Control Group
Sinônimos
-
Definição
Os grupos de controle eletrônico leem várias saídas do sensor e controla os sistemas necessários para fornecer o desempenho ideal da máquina em operações de equipamentos para serviços pesados Caterpillar.
Valores

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

CONTROLE 336D, CONTROLE 374DL, CONTROLE 777F, CONTROLE CATERPILLAR TRANSMISSÃO, CONTROLE CHASSI 740B, CONTROLE CHASSI 777F, CONTROLE CHASSI D9T, CONTROLE D6T, CONTROLE D9T, CONTROLE DA TRANSMISSÃO 777C, CONTROLE DE IMPLEMENTO 14M, CONTROLE ECM 777F, CONTROLE ECM MOTOR C15, CONTROLE ECM TRANSMISSÃO, CONTROLE ECM TRANSMISSÃO 740B, CONTROLE ECM TRANSMISSÃO 777F, CONTROLE ECM TRANSMISSÃO D9T, CONTROLE ECM VOLVO, CONTROLE ELETRÔNICO CATERPILLAR, CONTROLE FREIO 777F, CONTROLE MOTOR C11, CONTROLE MOTOR C11 - 14M, CONTROLE TRANSMISSÃO D9T, ECM CONTROLE C15, ECM CONTROLE C15-740B, ECM CONTROLE C18, ECM CONTROLE MOTOR CATERPILLAR, ECM CONTROLE MOTOR D9T, ECM MOTOR 365c, ECM MOTOR 365C - INDUSTRIAL, ECM MOTOR 777C, ECM MOTOR C15, ECM MOTOR C15 - 980h, ECM MOTOR C18, ECM MOTOR C32, ECM MOTOR C32 - CATERPILLAR, ECM MOTOR D11R, ECM TRANSMISSÃO CATERPILLAR 777F, ECM VIMS, MODULO 777G 4884875 CATERPILLAR.

Fim da tabela

Essa tabela foi elaborada para o estudo utilizando os valores extraídos diretamente dos relatórios oficiais de manutenção, sem qualquer edição. Por isso, é possível encontrar casos nos quais existem dois termos idênticos, mas com grafias diferentes, seja pela ausência de acentuação ou variações entre letras maiúsculas e minúsculas.

É importante salientar que esses valores são casos reais, porém não representam uma lista exaustiva. A utilização da ontologia, ou futuros relatórios de manutenção, pode introduzir novos valores, especialmente relacionados a conceitos como "Número de Requisição", "Código SAP", "Número de Série", "Número de Peça", "Número de Frota", "Descrição do Problema", "Solução do Problema" e outros.

Embora a metodologia *Methontology* sugira a presença de verbos no Glossário de Termos ou até mesmo a criação de um Glossário de Verbos, conforme preconizado

pela metodologia *OntoForInfoScience*, no contexto deste estudo, não foi viável devido à ausência explícita de verbos nos documentos utilizados para extrair conhecimento. Como resultado, não foi possível quantificar a frequência de ocorrência dos verbos. No entanto, os especialistas foram consultados sobre a relação entre os conceitos, levando à decisão de criar diretamente o Dicionário de Verbos.

A escolha de unir o Dicionário de Verbos e o Conjunto de Relações Conceituais em uma única tabela, denominada Tabela de Verbos e Relações Conceituais (apresentada na Tabela 4.4), baseou-se na observação de que a principal diferença entre os dois artefatos estava centrada em uma coluna específica, a de Exemplos. Essa decisão de combinar esses elementos visava simplificar a estrutura dos artefatos resultantes, garantindo uma representação mais concisa e unificada das relações verbais entre os conceitos.

Tabela 4.4: Tabela de Verbos e Relações Conceituais

ID	Verbo	Sinônimos	Definição	Exemplos
1	is a	is identified as	Indica uma relação entre dois conceitos que também é utilizado na definição de conceito.	<i>Fleet Number is a Fleet.</i>
2	is located at	is allocated in	Relação entre dois conceitos tal que um está localizado fisicamente em um outro conceito	<i>Electronic Component is localized at Location.</i>
3	is component of	is part of	Relação entre dois conceitos tal que um conceito pertence a outro.	<i>Electronic Component is component of Fleet</i>

Continua na próxima página

Tabela 4.4 – Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

ID	Verbo	Sinônimos	Definição	Exemplos
4	has	is characterized by	Relação entre dois conceitos tal que um detém especificações de outro.	<i>Electronic Component</i> has <i>SAP Code. Electronic Component</i> has <i>Serial Number</i> e <i>Part Number</i> .
5	is responsible for	-	Relação entre dois conceitos tal que um é responsável por outro.	<i>Responsible</i> is responsible for <i>Solution</i> .
7	is approved by	-	Relação entre dois conceitos tal que um confirma o outro.	<i>Solution</i> is approved by <i>Aprorador</i> .
8	is situation of	-	Relação entre dois conceitos tal que um solucionana o outro.	<i>description</i> is situation of <i>Solution</i> .
9	has final state	-	Relação entre dois conceitos tal que um classifica o outro.	<i>Solution</i> has final state <i>Final State</i> .
10	has diagnosis	-	Relação entre dois conceitos tal que um diagnostica o outro.	<i>Problem</i> has diagnosis <i>Diagnosis</i> .

Continua na próxima página

Tabela 4.4 – Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

ID	Verbo	Sinônimos	Definição	Exemplos
11	is diagnosed by	-	Relação entre dois conceitos tal que é diagnosticado por alguém.	<i>Diagnosis is diagnosed by Res-possible.</i>

Fim da tabela

A decisão de elaborar um modelo conceitual bem embasado, utilizando as ferramentas e representações apropriadas, foi direcionada para ser realizada no encerramento da Fase 4 de Integração, conforme detalhado na Seção 4.5.

Essa escolha tem como objetivo garantir que o modelo conceitual resultante seja sólido e abranja de maneira eficaz todas as interconexões, relações e estruturas conceituais desenvolvidas ao longo do processo. Realizar essa documentação no final da fase de integração possibilita a consolidação de todas as informações e atualizações obtidas ao longo do desenvolvimento da ontologia, assegurando assim um modelo mais completo e preciso.

4.5 Fase 4 - Integração

A etapa de integração complementa a fase de conceitualização e precede a implementação, possibilitando a busca por uma ontologia preexistente, validada e compartilhada. Isso é fundamental para evitar a expansão indiscriminada de termos.

Ao explorar ontologias de base, o objetivo foi encontrar uma que fosse capaz de representar tanto universais quanto particulares, elementos duráveis e transitórios. Além disso, essa ontologia deveria contribuir para estabelecer uma base sólida na modelagem conceitual e facilitar a posterior validação da ontologia a ser criada.

Durante as últimas duas décadas, foi desenvolvida uma ontologia de fundamentação que combina teorias de diversas áreas, como ontologia formal na filosofia, ciência

cognitiva, linguística e lógicas filosóficas. Denominada de *Unified Foundational Ontology* (UFO), pesquisas realizadas por Verdonck, Gailly (2016) apontam que esta é a segunda ontologia de fundamentação mais amplamente empregada e com maior nível de aceitação.

Guizzardi et al. (2022) explica que a proposta é oferecer bases ontológicas para a modelagem conceitual, bem como para o design de modelos e estruturas de modelagem concretas, abrangendo diversas microteorias, as quais lidam com noções essenciais de modelagem conceitual, incluindo tipos de entidades e tipos de relacionamentos. A UFO está dividida em três partes principais: UFO-A, que representa uma ontologia de entidades existentes no momento; UFO-B, que é uma ontologia de entidades que se estendem no tempo; e UFO-C, que abrange entidades sociais e intencionais.

Embora a ontologia de fundamentação *Basic Formal Ontology* (BFO) seja referenciada em documentos normativos, como a ISO (2021b), a escolha de adotar uma ontologia de fundamentação diferente não constitui uma violação das regras. A UFO, que compartilha princípios filosóficos semelhantes com o BFO, também é reconhecida como uma ontologia de fundamentação. A UFO foi desenvolvida com base na perspectiva delineada em Gruber (1994), que sugere que uma ontologia de fundamentação pode ser dividida em duas categorias: (1) domínio e (2) tarefa, formando coletivamente uma ontologia de aplicação.

Essa distinção implica que uma ontologia de fundamentação pode ser adaptada a domínios específicos e suas tarefas associadas, criando efetivamente uma ontologia de aplicação que se alinha com as necessidades práticas de um campo particular. No contexto mencionado, em que o foco está nos serviços de manutenção, que podem ser categorizados como tarefas, a escolha de usar o UFO em vez do BFO foi feita.

A decisão de utilizar o UFO em vez do BFO é motivada pela crença de que a estrutura e os princípios do UFO estão mais alinhados com os requisitos específicos e nuances de tarefas, como os serviços de manutenção. Embora o BFO sirva como uma ontologia de fundamentação respeitada, a flexibilidade de escolher uma diferente, como o UFO, reflete o reconhecimento de que diferentes ontologias podem atender melhor às necessidades de aplicações ou domínios específicos. Isso permite uma representação e organização mais precisas do conhecimento nesses domínios, melhorando a eficácia geral

da modelagem ontológica e do raciocínio em contextos práticos.

4.5.1 Modelagem Conceitual

Foi adotada uma linguagem fundamentada na UFO para conduzir a modelagem conceitual, denominada OntoUML, a qual oferece uma representação precisa e expressiva dos conceitos e relações dentro de um domínio específico. Estudos empíricos realizados por Guizzardi et al. (2022), evidenciam que essa abordagem contribui significativamente para aprimorar a qualidade dos modelos conceituais, sem exigir esforço adicional na sua produção.

A linguagem OntoUML apresenta um conjunto de estereótipos que se alinham às categorias ontológicas da UFO, abrangendo tipos de objetos, tipos de momentos, tipos de relatores, tipos de eventos, entre outros. Além disso, a linguagem inclui restrições de integridade e regras de derivação, assegurando a consistência e a completude dos modelos elaborados.

Para facilitar a compreensão do modelo conceitual, este foi dividido em quatro visualizações distintas.

O estereótipo de eventos (`<<event>>`) é uma classificação usada para representar entidades que descrevem processos, ocorrências ou atividades que ocorrem em determinado tempo e espaço. Eventos são entidades que possuem uma duração ou instância no tempo e podem produzir mudanças no estado de outras entidades ao longo desse tempo.

Os eventos na UFO incluem desde acontecimentos simples, como uma ação única, até processos mais complexos e sequenciais que envolvem várias fases ou etapas. Esses eventos podem ser associados a outros tipos de entidades, como objetos, processos, estados, entre outros, e desempenham um papel crucial na representação de mudanças e interações em um domínio específico.

Essa categorização permite capturar uma ampla gama de fenômenos que envolvem a noção de atividade ou mudança ao longo do tempo, oferecendo uma base para descrever e compreender eventos em um contexto ontológico.

A Figura 4.7 mostra como os eventos de manutenção se relacionam com a classe que sofrerá alterações devido a esses eventos, especificamente, o *Electronic Component*.

Optou-se por generalizar em relação às classes *Service Order* e *Maintenance* para estabelecer um ponto de conexão com outras ontologias de manutenção e para possibilitar futuros avanços e refinamentos na OMMEL.

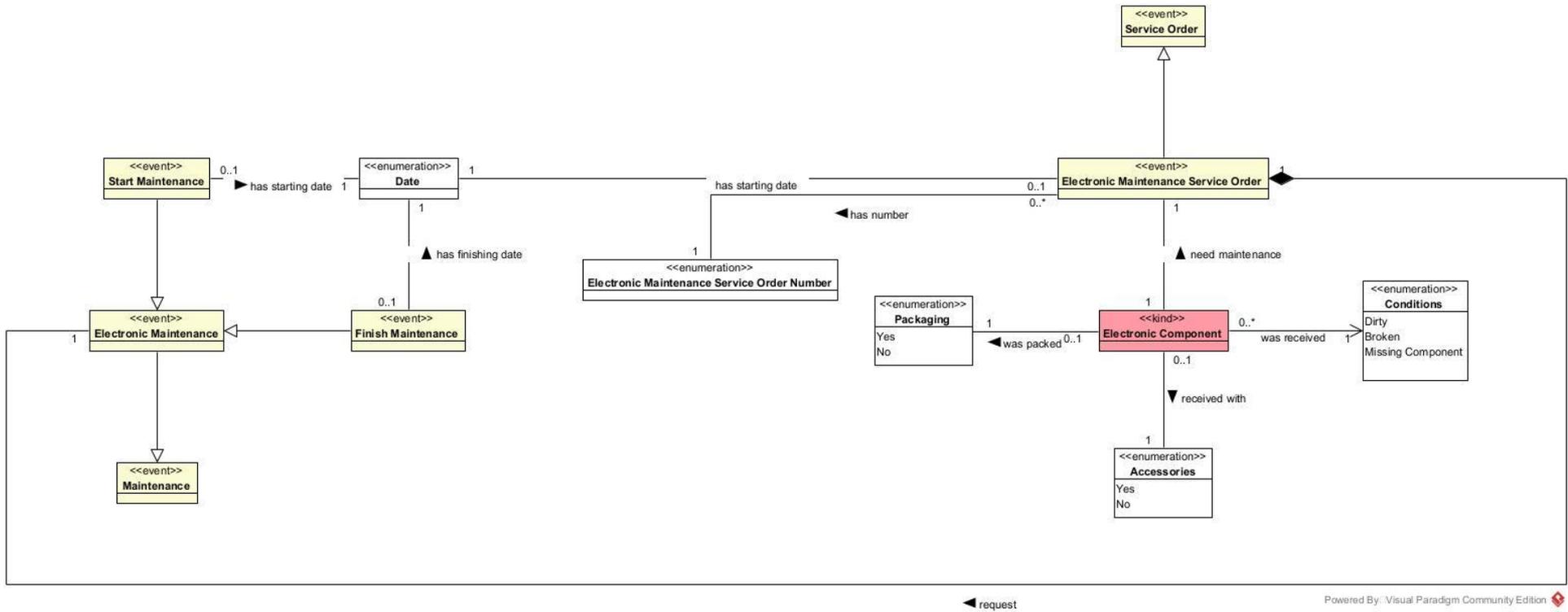


Figura 4.7: Visualização das relações de eventos de manutenção.

O estereótipo de fase (<<**phase**>>) é uma classificação empregada para representar entidades que descrevem etapas ou estágios em um processo ou fenômeno temporal. Pode ser usada para delinear diferentes estágios dentro de um processo contínuo, fornecendo uma estrutura conceitual para entender e categorizar a sequência de eventos ou mudanças ao longo do tempo, representando a evolução de uma atividade, processo ou fenômeno, permitindo uma representação mais clara e detalhada das etapas envolvidas em uma sequência de eventos ou em um desenvolvimento gradual.

Já o estereótipo de relator (<<**relator**>>) são entidades responsáveis por informar ou documentar relações que ocorrem entre diferentes objetos, eventos ou fenômenos. Essa categorização permite a representação de entidades que são capazes de relatar ou mediar informações sobre as relações entre objetos ou eventos, agregando uma camada conceitual que possibilita a documentação e o entendimento dos relacionamentos sem afetar diretamente as entidades envolvidas.

O estereótipo de papéis (<<**role**>>) é uma classificação usada para representar entidades que desempenham papéis específicos dentro de um contexto ou situação particular. Essas entidades estão associadas a funções ou responsabilidades que uma entidade pode assumir em um determinado contexto, mas não fazem parte da própria natureza ou essência da entidade.

As relações ilustradas na Figura 4.8 são esclarecidas pelas explicações anteriores. O relator *Problem* estabelece a conexão entre suas diferentes fases e a classe *Electronic Component*. A fase *Diagnosis* determina o início do evento de manutenção, enquanto a fase *Solution* determina o término do evento de manutenção, resultando em um estado final para o componente. As etapas do problema são acompanhadas por pessoas especialistas, atuando em papéis de *Approver* ou *Responsible*.

O estereótipo de tipo (<<**kind**>>) é um dos estereótipos mais fundamentais, pois representam categorias ou tipos de entidades que possuem uma identidade única e invariável ao longo do tempo. Ajuda a estabelecer uma hierarquia de tipos, permitindo a classificação e a compreensão de entidades de acordo com suas propriedades e natureza. É uma maneira de representar uma categoria ou classe mais ampla de entidades que compartilham características fundamentais.

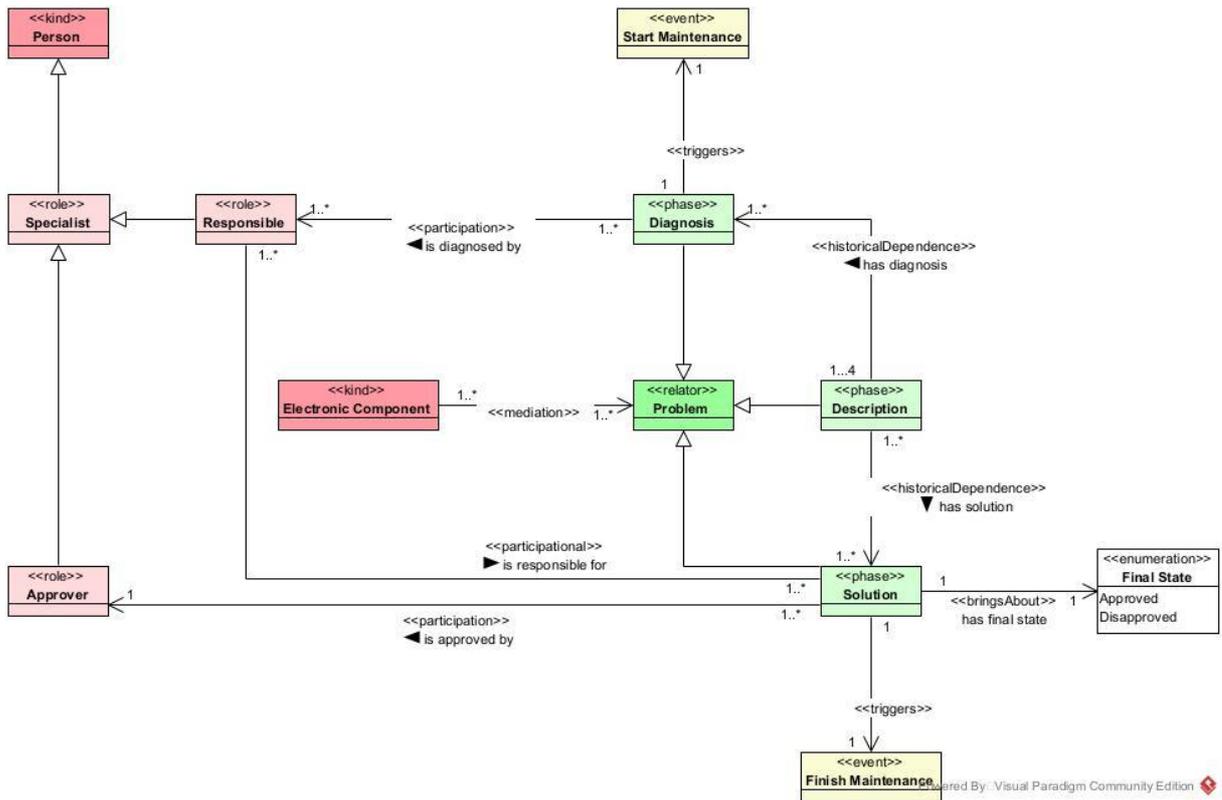


Figura 4.8: Visualização das relações de eventos de manutenção, problemas e componentes eletrônicos.

O estereótipo de coletivo (**<<collective>>**) se refere a uma classificação de entidades que descrevem aglomerados, grupos ou coleções de coisas ou indivíduos. Este estereótipo é aplicado a entidades que são constituídas por um conjunto de componentes ou membros individuais, que, quando unidos, formam uma entidade singular.

O estereótipo de qualidade (**<<quality>>**) representa um tipo particular de propriedade intrínseca que tem um valor estruturado e dependem da existência das entidades que elas caracterizam. Podem ser perceptíveis, como peso, altura, cor; não perceptível, não sendo diretamente mensurável; nominal, usado para fazer referência a um indivíduo específico, como um número de identificação.

A Figura 4.9 mostra exatamente as relações e restrições que caracterizam um *Electronic Component* e como ele se relaciona com a frota de equipamentos (*Fleet*) e o local onde as instâncias desta coleção se encontram. Apesar de não estar em evidência, mas ambas as classes *Electronic Component* e *Fleet* são subclasses da classe *Functional Complex*, aquela cujas partes executam diferentes papéis em sua composição.

A Figura 4.10 apresenta uma imagem de grande dimensão, uma vez que reflete

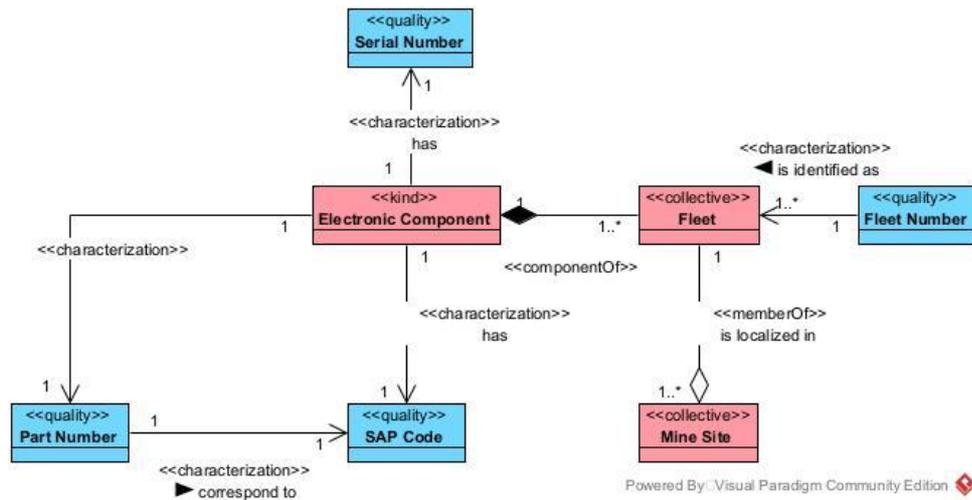


Figura 4.9: Visualização das relações entre *Electronic Component* e *Fleet*

a quantidade substancial de subtipos relacionados à classe *Electronic Component*. A exibição visual é válida e essencial, pois esses subtipos são identificados nos relatórios de manutenção e estão detalhadamente documentados no Glossário de Conceitos e na Tabela de Conceitos e Valores.

É importante salientar a necessidade de estabelecer uma relação entre os subtipos de *Fleet* e os subtipos de *Electronic Component*, já que se trata de uma relação de composição exclusiva.

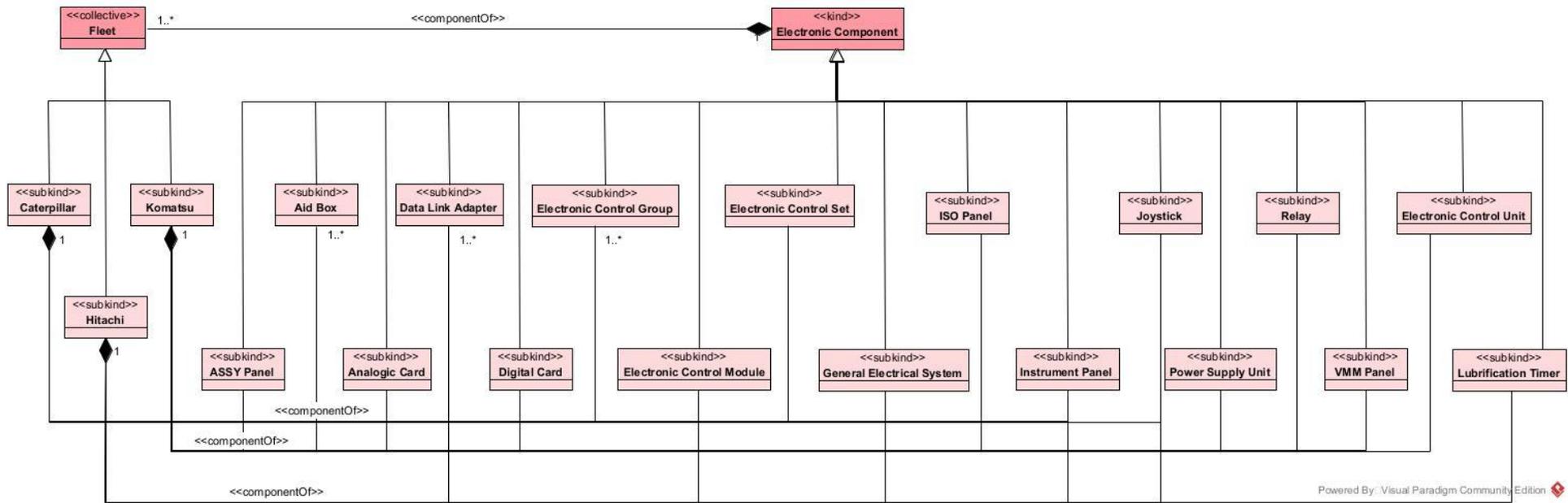


Figura 4.10: Visualização das relações entre os subtipos de *Electronic Component* e *Fleet*

4.6 Fase 5 - Implementação

A etapa de implementação é complementar à etapa de integração, pois, a partir do modelo ontológico, ocorre a criação efetiva da ontologia.

Isso viabiliza manipulações e inferências no contexto do domínio de conhecimento definido pela ontologia. Durante a implementação, a representação formal dos conceitos, propriedades e relações ocorre por meio da escolha de uma linguagem específica, como *Resource Description Framework* (RDF), *Web Ontology Language* (OWL) ou Turtle. Além disso, a ontologia é desenvolvida em detalhes, integrando-se com fontes de dados existentes, mapeando dados para os conceitos definidos e sendo testada para garantir sua consistência e validade.

Posteriormente, a ontologia implementada é integrada em sistemas ou aplicativos pertinentes, possibilitando sua utilização para facilitar a compreensão semântica, melhorar a interoperabilidade e apoiar inferências no ambiente em questão. Essa fase também envolve a manutenção e evolução contínuas da ontologia à medida que o domínio de conhecimento se desenvolve e requer ajustes.

Este trabalho propõe uma integração com a ontologia de fundamentação UFO³, e é obrigatório que essa relação seja claramente explicitada durante a implementação utilizando alguma ferramenta de edição que, neste caso, é a ferramenta Protégé.

4.6.1 Taxonomia

Como a ferramenta Protégé inclui o *plug-in* OwlViz, um visualizador de hierarquia ontológica, optou-se por utilizá-lo para ilustrar a taxonomia resultante da integração das ontologias OMMEL e UFO. Isso permite visualizar de maneira eficaz a organização dos conceitos após a integração das ontologias.

A taxonomia da ontologia UFO é apresentada nas Figuras 4.11 e 4.12. Vale ressaltar que a OntoUML é fundamentada na distinção fundamental entre Tipos (*Type*) e Indivíduos (*Individual*). Os Tipos representam conceitos abstratos que auxiliam na compreensão e classificação do mundo. Esses conceitos servem como conjuntos de ca-

³Uma versão simplificada é disponibilizada pelos criadores no endereço gUFO (<https://nemo-ufes.github.io/gufo/>)

racterísticas que são encontradas de maneira específica nos Indivíduos. O domínio da ontologia OMMEL é então integrado a partir dessa organização.

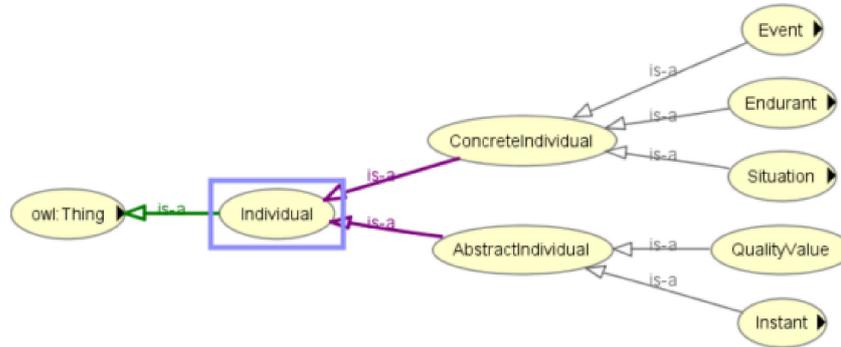


Figura 4.11: Taxonomia da ontologia UFO - hierarquia dos indivíduos

Os *Individuals*, por sua vez, são categorizados em duas subclasses principais: *AbstractIndividual* e *ConcreteIndividual*.

Iniciando pela divisão de *ConcreteIndividual*, conforme o modelo conceitual, as classes *Maintenance*, *Electronic Maintenance*, *Start Maintenance*, *Finish Maintenance*, *Service Order* e *Electronic Maintenance Service Order* são subcategorias da classe *Event*.

Além disso, as classes *Electronic Maintenance Service Order*, *Accessories*, *Conditions*, *FinalState*, *Fleet Number*, *Packaging*, *Part Number*, *SAP Code* e *Serial Number* são subclasses da classe *Quality*, que, por sua vez, é subclasse das classes *IntrinsicAspect*, *Aspect* e *Endurant*.

As classes *Mine Site*, *Specialist*, *Approver* e *Responsible* são subclasses das classes *VariableCollection*, *Collection*, *Object* e *Endurant*.

Todas as subclasses das classes *Electronic Component* e *Fleet* são subclasses da classe *FunctionalComplex*, *Object* e *Endurant*.

As classes *Problem*, *Description*, *Diagnosis*, *Solution* são subclasses da classe *QualityValueAttributionSituation*, que, por sua vez, é subclasse da classe *Situation*.

A classe dos *AbstractIndividuals* inclui a classe *Date* como subclasse da subclasse *Instant*, a fim de representar instantes específicos no tempo.

Todas as classes previamente definidas no modelo conceitual foram empregadas, proporcionando uma representação abrangente no âmbito da OMMEL. A taxonomia completa desta ontologia está disponível para análise e compreensão detalhada através de seis imagens apresentadas na Seção B do Apêndice.

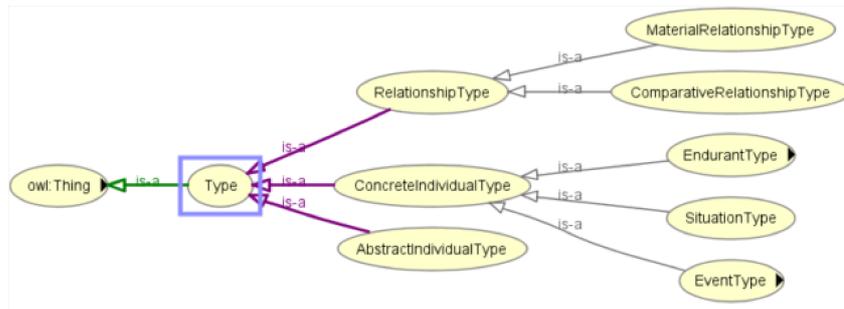


Figura 4.12: Taxonomia da ontologia UFO - hierarquia dos tipos

Aspectos específicos da estrutura ontológica serão apresentados na Seção 4.6.2 oferecendo uma visão abrangente e organizada das relações entre algumas classes que compõem a OMMEL.

4.6.2 Visão Abrangente da Ontologia OMMEL

Na perspectiva ontológica, os Tipos desempenham o papel fundamental de abstrair os Indivíduos, conectando-se diretamente aos conceitos sobre Universais e Particulares discutidos na Seção 2.4. Nesse contexto, a implementação e integração, guiadas pelos princípios da UFO, estabelecem que as classes dos Indivíduos são instanciadas por meio dos Tipos, incorporando suas características.

Portanto, as Figuras 4.14 e 4.13 desempenham um papel crucial ao oferecerem representações visuais precisas da materialização do modelo conceitual. Elas ilustram de maneira explícita como as regras ontológicas são estritamente obedecidas durante a fase de implementação.

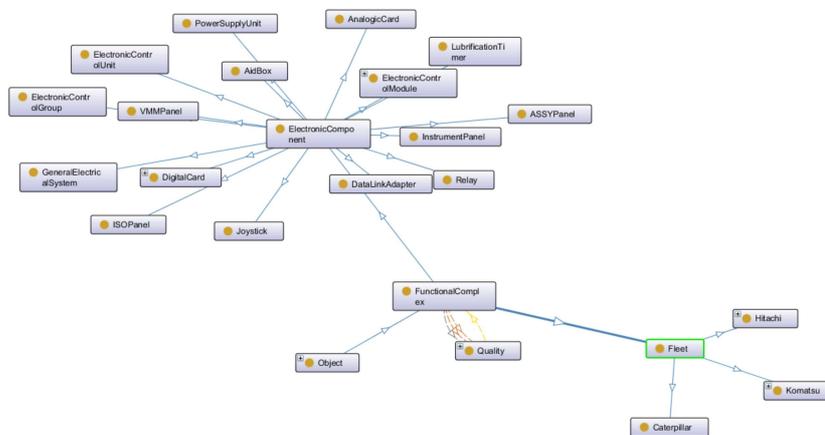


Figura 4.13: Classes de Complexos Funcionais prevista plena ontologia UFO

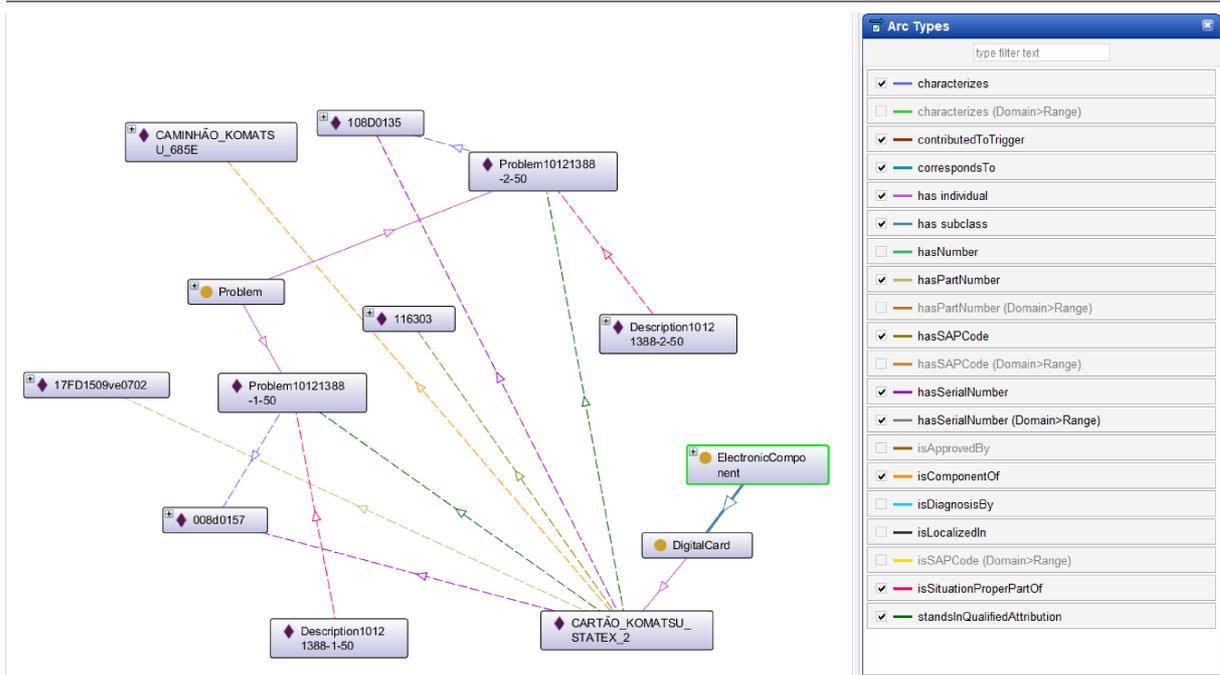


Figura 4.15: Exemplo das correlações entre indivíduos na ontologia OMMEL

4.7 Considerações Finais do Capítulo

A extensão considerável deste capítulo reflete a natureza meticulosa da tarefa de desenvolvimento de uma ontologia. Esse processo é caracterizado por uma abordagem criteriosa, pois busca-se alcançar uma representação fiel e abrangente de um domínio específico. Essa representação não é apenas um exercício acadêmico, mas sim uma construção estratégica, visando criar uma poderosa fonte de suporte para a tomada de decisões de uma empresa, podendo ter reflexos financeiros consideráveis.

Ao longo do capítulo, cada etapa do desenvolvimento foi minuciosamente explorada, desde a definição de conceitos até a especificação de relações e propriedades. Esse nível de detalhe é crucial para garantir que a ontologia não apenas capture, mas também compreenda a complexidade do domínio da manutenção eletrônica de componentes de máquinas pesadas.

Portanto, a riqueza de detalhes neste capítulo não é apenas uma demonstração de rigor metodológico, mas reflete a busca pela excelência na criação de uma ontologia que verdadeiramente sirva como um recurso valioso e eficaz para os profissionais e envolvidos no domínio da manutenção eletrônica de máquinas pesadas, sem esquecer dos futuros pesquisadores que poderão se envolver com este desenvolvimento no intuito de efetuar

melhorias.

Além da extensa construção da ontologia, empenharam-se esforços significativos no desenvolvimento de uma ferramenta projetada para permitir que especialistas estabeleçam uma conexão efetiva com a ontologia em seu cotidiano de maneira intuitiva.

O Capítulo 5 fornecerá uma visão mais detalhada sobre como a ferramenta foi concebida e implementada, destacando seu papel na facilitação da interação dos especialistas com a ontologia. Esse esforço conjunto não apenas fortalece a robustez da ontologia, mas também ressalta o comprometimento em proporcionar uma solução integral que atenda às necessidades práticas e operacionais da comunidade envolvida no cenário de manutenção eletrônica de maquinários pesados.

5 FastMain - Ferramenta Web Baseada na Ontologia OMMEL

Após o desenvolvimento do artefato ontológico OMMEL, conforme descrito no Capítulo 4, o próximo passo envolveu a criação de um sistema protótipo destinado a apoiar um estudo de caso real, caracterizado por eficiência e facilidade de manuseio. Dessa iniciativa, surgiu o FastMain (abreviação para Manutenção Rápida em língua inglesa), em busca de reduzir o tempo de execução dos serviços de manutenção realizados no laboratório de eletrônica.

5.1 A Utilização da OMMEL pela FastMain

No Capítulo 4 foram levantados os requisitos para a ontologia OMMEL. Ainda que não formuladas como perguntas, as questões de competência são descritas pelo que foi chamado de Escopo, descrito pela Seção 4.2.

Focando aqui apenas na parte de eventos de manutenção, o sistema protótipo da FastMain buscará responder questões de competência da ontologia OMMEL, tais como:

1. *Dado um número de peça (PartNumber) quais são as descrições de problemas relacionados a ele?*
2. *Dado um número de série (SerialNumber) quais são as descrições de problemas relacionados a ele?*
3. *Dada uma descrição de problema quais são os números de série (Serial Number) relacionados a ela?*

Para tanto, tem-se os seguintes axiomas ontológicos:

$$(A1) \forall x \forall y \exists z (PartNumber(x) \wedge Problem(x, y) \rightarrow Description(x, z))$$

$$(A2) \forall x \forall y \exists z (SerialNumber(x) \wedge Problem(x, y) \rightarrow Description(x, z))$$

$$(A3) \forall x \forall y \exists z (Description(x) \wedge Problem(z, x) \rightarrow SerialNumber(y, z))$$

Para melhor compreensão sobre as classes, suas relações e cardinalidades, as Figuras 4.8 e 4.9 poderão ser revisitadas.

5.2 Arquitetura da Solução

Com o objetivo de acelerar o desenvolvimento, foram empregadas ferramentas e bibliotecas disponíveis. A implementação da ontologia foi realizada utilizando a ferramenta Protégé, como visto na Seção 4.6.

A arquitetura da FastMain pode ser observada na Figura 5.1. Essencialmente, a FastMain busca proporcionar uma solução eficaz e de fácil operação, alinhada à ontologia OMMEL, para otimizar as operações de manutenção no referido laboratório. Este sistema protótipo representa a concretização prática das abstrações ontológicas delineadas anteriormente, proporcionando uma implementação tangível para aprimorar a eficiência dos processos de manutenção no ambiente específico do laboratório de eletrônicos.

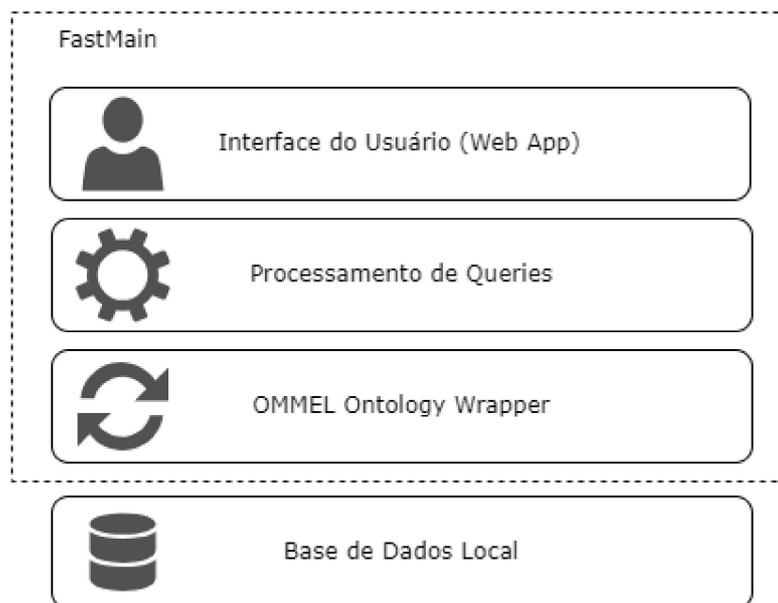


Figura 5.1: Arquitetura da aplicação web FastMain

No âmbito do desenvolvimento de sistemas baseados em ontologias, destacam-se duas linguagens: Java e Python. A última é conhecida pela variedade de bibliotecas disponíveis para processar dados RDF. Ela foi escolhida devido à sua natureza amigável ao desenvolvedor, rápida curva de aprendizado e uma ampla gama de bibliotecas que

facilitam o processamento de artefatos ontológicos, promovendo um desenvolvimento ágil e eficiente.

A camada de *Base de Dados Local* refere-se a uma planilha mantida pelos trabalhadores do laboratório, criada em um *software* proprietário. Essa planilha é atualizada após cada manutenção realizada. A escolha de usar uma planilha em vez de um banco de dados mais robusto se deve à falta de acesso dos trabalhadores a uma solução que lhes permita fazer essa transição de maneira eficiente.

De posse dos dados da camada *Base de Dados Local*, a camada inicial da FastMain é um componente fundamental chamado de *Wrapper de Ontologia*. Esta camada, cujo termo é mais amplamente utilizado em inglês, desempenha um papel crucial na interface entre bases de dados e a máquina que efetivamente utilizará informações provenientes de uma ontologia.

Essa camada é conhecida por facilitar a integração e interoperabilidade entre ontologias ou bases de dados distintas, portanto, vale ressaltar que esta camada é fundamental para uma futura expansão da abordagem FastMain.

Apesar de não ser o cenário do presente estudo, onde há apenas uma base de dados e um modelo de ontologia, essa camada ainda é essencial para realizar o mapeamento entre a camada *Base de Dados Local* e o modelo da ontologia OMMEL. Utilizou-se então as biblioteca *pandas*⁴ para ler e consumir novas entradas da base de dados e também a biblioteca *rdflib*⁵ para transformar os dados obtidos da base de dados em uma estrutura sujeito-verbo-predicado, possibilitando uma integração eficaz com o artefato ontológico. Essa etapa é crucial para que as informações possam ser utilizadas posteriormente pela camada *Processamento de Queries*.

A interação entre a camada de *Base de Dados Local* e o *Wrapper de Ontologia* é um aspecto crítico no funcionamento da ferramenta. Quando a ferramenta é inicializada, ocorre uma verificação diária da quantidade de dados na *Base de Dados Local* em comparação com a última quantidade de dados que foi lida e adicionada à ontologia OMMEL. Essa verificação é realizada consultando os arquivos de registros.

Essencialmente, essa verificação serve para garantir consistência e atualização

⁴Biblioteca disponível em <https://pandas.pydata.org/>

⁵Biblioteca disponível em <https://rdflib.readthedocs.io/en/stable/>

entre a *Base de Dados Local* e a ontologia. Ela verifica se houve alterações ou adições nos dados desde a última execução da ferramenta. Caso haja discrepâncias, o *Wrapper de Ontologia* é acionado para processar as novas entradas e garantir que a ontologia esteja sempre refletindo a última versão dos dados da *Base de Dados Local*.

Dessa forma, essa camada desempenha um papel crucial na manutenção da integridade e sincronia entre os dados locais e a representação ontológica, assegurando que o sistema esteja sempre operando com informações precisas e atualizadas.

O Algoritmo 3, do Apêndice C, apresenta, em formato de pseudocódigo, o funcionamento do *wrapper*. Como evidenciado, dentro do abrangente modelo ontológico que constitui a OMMEL, foi decidido explorar especificamente as relações entre eventos de manutenção, problemas e componentes eletrônicos, conforme ilustrado pelas Figuras 4.8 e 4.15. Essa decisão foi estratégica, equilibrando as prioridades de retorno de informações elencadas pelos funcionários e a viabilidade de implementação para o desenvolvimento desta dissertação.

Posteriormente, na camada *Processamento de Queries*, um motor de consulta SPARQL capacita os usuários a buscarem respostas por meio da interface do usuário, empregando três métodos específicos: 1 - busca por número de série; 2 - busca por número de peça; 3 - busca por uma descrição similar. Os Algoritmos 1 e 2, do Apêndice C, delinham os processos de consulta em pseudocódigo, detalhando cada etapa para a busca por número de peça ou número de série e a busca por uma descrição similar, respectivamente.

A capacidade de buscar informações por meio de números de série, números de peça ou descrições similares amplia a flexibilidade e utilidade do sistema, proporcionando aos usuários diversas opções para recuperar dados pertinentes de maneira eficiente.

Para realizar a busca por uma descrição similar foi utilizada a biblioteca *fuzzywuzzy*⁶, que calcula a Distância de Levenshtein entre duas strings. Essa é uma ferramenta útil em casos em que a correspondência exata entre strings pode não ser possível devido a erros de digitação, variações na grafia ou outras pequenas discrepâncias, usando uma métrica que quantifica a diferença entre duas sequências de caracteres, medindo o número mínimo de edições necessárias para transformar uma sequência na outra. Essa abordagem amplia a

⁶Biblioteca disponível em <https://pypi.org/project/fuzzywuzzy/>

robustez do sistema, permitindo que os usuários obtenham resultados relevantes em casos onde não é possível buscar a correspondência exata.

Embora a busca por descrição ofereça uma abordagem mais abrangente, as situações em que se busca por número de série ou número de peça ainda se revelam muito pertinentes, especialmente quando o objetivo é investigar grupos específicos e os problemas associados a esses grupos. Enquanto a busca por descrição é mais ampla e flexível, a busca por número de série ou número de peça proporciona uma abordagem mais direcionada, ideal para situações em que a precisão e a especificidade são prioritárias.

Portanto, a diversidade de opções de busca oferecidas pelo sistema permite aos usuários adaptar suas investigações conforme a natureza e os objetivos específicos de cada cenário, proporcionando uma experiência mais completa e adaptável.

Todo o material utilizado para o desenvolvimento desta ferramenta encontra-se disponível em um repositório *online*⁷, mediante autorização.

5.3 Interface do Usuário

Embora a ontologia tenha seu modelo e implementação em inglês, suas instâncias ou valores de instâncias são predominantemente em português, pois é a língua nativa dos usuários. Por essa mesma razão, toda a interface do usuário também é desenvolvida em português brasileiro.

Essa abordagem de desenvolver instâncias e valores de instâncias em português alinha-se à preferência dos usuários, facilitando a compreensão e utilização do sistema no contexto cultural e linguístico em que estão inseridos. A escolha de manter a interface do usuário em português brasileiro também contribui para uma experiência mais intuitiva e amigável, considerando a língua materna dos usuários como elemento central na interação com o sistema. A consideração da proficiência dos usuários em línguas estrangeiras é um aspecto crucial para garantir a eficácia e a aceitação do sistema.

As imagens que compõem a Figura 5.2 mostram as interfaces de usuários, criadas utilizando HTML com a ferramenta Bootstrap e CSS. No canto esquerdo, o usuário poderá escolher qual o método de busca que deseja utilizar. Caso seja a busca por número de

⁷Endereço de acesso ao repositório <https://github.com/luizabartels/FastMain>

The screenshot shows the FAST MAIN search interface. On the left, under 'Métodos de Busca', there are two options: 'por Serial Number ou Part Number' (selected) and 'por descrição do problema'. The main area has two input fields: 'Digite o Serial Number:' and 'Digite o Part Number:'. Below these is a radio button selection for 'Número de Série' (selected) and 'Part Number'. A blue 'Buscar' button is positioned below the radio buttons. At the bottom, a table header is visible with columns: '#', 'Componente', 'Descrição', 'Situação', 'Solução', and 'Dias'.

(a) Interface do método de busca por Serial Number ou Part Number.

The screenshot shows the FAST MAIN search interface for description-based search. On the left, under 'Métodos de Busca', there are two options: 'por Serial Number ou Part Number' and 'por descrição do problema' (selected). The main area has two input fields: 'Digite a descrição do problema:' and 'Digite o índice de similaridade desejada (%)'. A blue 'Buscar' button is positioned below the second input field. At the bottom, a table header is visible with columns: '%', 'Componente', 'Descrição', 'Situação', 'Solução', and 'Dias'.

(b) Interface do método de busca por descrição do problema.

Figura 5.2: Interfaces gráficas por métodos de busca.

peça ou número de série, basta que ele digite o número no campo correto, escolher a correspondência do número. A busca retornará respostas no formato tabular, contendo um contador (valores da coluna #), o nome do componente, a descrição do problema, a situação final (se aprovado ou reprovado após solução), solução e há quantos dias que esta manutenção aconteceu.

Quando o usuário deseja buscar por descrição semelhante, basta digitar palavras que descrevam o problema no campo correto e no outro, colocar qual a porcentagem mínima de similaridade deseja-se com que esta descrição corresponda. A busca retornará descrições iguais ou superiores a descrição digitada, em formato tabular, ordenadas em forma decrescente, sendo o referencial a porcentagem de similaridade. Ou seja, a descrição mais similar será listada no topo da tabela.

5.4 Considerações Finais do Capítulo

Uma abordagem especialmente concebida para manipular a ontologia OMMEL e testá-la em um ambiente real era essencial para aprimorar a robustez do trabalho. Diante disso, a decisão foi optar pelo desenvolvimento de uma solução baseada na web, utilizando a linguagem de programação Python para garantir maior agilidade e eficácia na implementação.

As camadas de sua arquitetura conta com uma capaz de traduzir uma base de dados simples em estruturas sujeito-verbo-predicado modelado de acordo com as regras da OMMEL e outra capaz de realizar as buscas solicitadas pelos usuários. A interface do usuário é de uma simplicidade que busca aliar funcionalidade e usabilidade, devido a rotina laboral, há uma certa dificuldade em ministrar um tutorial sobre como utilizar o sistema de forma eficaz para que eles pudessem absorver o conteúdo para poderem utilizar em seu dia-a-dia.

Apesar de explorarmos apenas uma parte do modelo ontológico neste estudo, não diminui a importância do desenvolvimento, muito pelo fato de este ser um estudo que busca responder também sobre como pode-se diminuir o tempo de entrega (*lead time*) dos serviços de manutenção. O modelo ontológico, desenvolvido no Capítulo 4, é robusto e abrangente, oferecendo diversas perspectivas a serem exploradas para aprimorar os serviços de manutenção como um todo, abrindo interessantes possibilidades de estudos futuros.

O Capítulo 6 apresentará os resultados obtidos ao avaliarmos tanto o modelo ontológico quanto sua utilização pelo sistema FastMain.

6 Avaliação da Abordagem

Após a criação da ontologia e do desenvolvimento da ferramenta que a utiliza, conforme descrito nos Capítulos 4 e 5, respectivamente, é pertinente dedicar um capítulo integral à avaliação dos resultados obtidos. Este capítulo abordará a análise e interpretação dos dados provenientes da implementação dessas soluções, proporcionando uma compreensão aprofundada do impacto e eficácia alcançados.

6.1 Introdução

Ao longo deste capítulo, serão apresentados os resultados específicos alcançados com os dados reais coletados durante a implementação. Além disso, serão discutidas as implicações práticas desses resultados e como eles contribuem para atender aos objetivos inicialmente delineados de organizar e utilizar de forma eficaz o conhecimento tácito do contexto do laboratório, de forma a otimizar os serviços e representar precisamente o ambiente de trabalho destes profissionais.

A avaliação não se limita apenas a métricas de desempenho; ela também aborda questões mais amplas de eficácia, eficiência e aceitação pelos usuários finais. Dessa forma, busca-se proporcionar uma compreensão abrangente do valor agregado por meio das soluções propostas.

6.2 Estudo Experimental

Com o propósito de avaliar os desenvolvimentos, foi realizado um estudo experimental de natureza exploratória. Tal abordagem foi adotada em virtude da novidade do tema para a pesquisadora e como um ponto de partida para investigações mais detalhadas que se seguirão na empresa em questão, mantendo a mesma temática de soluções ou não.

6.2.1 Avaliação da Ontologia OMMEL

Nesta subseção serão apresentados apenas resultados relativos ao desenvolvimento da ontologia OMMEL.

6.2.2 Por Ferramentas de Apoio

Após a conclusão da implementação do modelo conceitual da ontologia OMMEL, procedeu-se à integração com a ontologia de fundamentação UFO, utilizando a ferramenta Protegé, conforme detalhado no Subcapítulo 4.6.1. Os membros do NEMO, mesmo grupo de pesquisa que criou a OntoUML, como descrito no Subcapítulo 2.4.4, criaram um *pplugin*⁸ específico para ser utilizado no Protegé para auxiliar os desenvolvedores durante a integração. Verifica-se se a qualidade da ontologia a ser integrada com a UFO se esta está obedecendo um número de regras.

A figura 6.1 ilustra que a ontologia proposta está integrada de maneira que não viola nenhum dos princípios da ontologia UFO, evidenciando a consistência e a conformidade alcançadas nesse processo de integração.



Figura 6.1: *Plugin* da ferramenta Protegé comprovando que não há violações com integrar a OMMEL com a UFO

Esse passo crítico assegura a coerência semântica entre as ontologias, fortalecendo a robustez do modelo e sua capacidade de representar adequadamente o conhecimento no domínio específico em questão. Essa abordagem também proporciona maior confiabilidade na interpretação e na utilização das informações contidas na ontologia OMMEL, ao alinhar-se de forma consistente com os fundamentos da ontologia UFO.

⁸Disponível em <https://github.com/nemo-ufes/ufo-protege-plugin>

6.2.3 Pelos Especialistas

Em seguida, os especialistas do laboratório foram abordados para a realização de uma avaliação da ontologia desenvolvida. Considerando que a eficácia de um sistema baseado em ontologia depende diretamente da representatividade precisa dessa ontologia de domínio, os especialistas foram convidados a avaliar criteriosamente esta representatividade. Para formalizar sua participação, cada um foi solicitado a assinar um Termo de Livre Consentimento, no qual expressavam concordância ou discordância em relação aos benefícios, riscos, custos e confidencialidade associados a responder as perguntas de avaliação. Todos os quatro integrantes, sendo três deles técnicos em eletrotécnica e um, gestor, concordaram em participar e autorizaram explicitamente a menção direta de seus nomes.

Essa abordagem garantiu não apenas a participação ativa dos especialistas, mas também estabeleceu um entendimento claro e transparente sobre as condições e implicações do processo de avaliação. A inclusão direta dos nomes dos especialistas reforça a autenticidade e a legitimidade das respostas fornecidas, contribuindo para uma avaliação mais robusta e confiável da ontologia gerada.

Entre os dias 3, 8 e 10 de março de 2023, foram realizadas as seguintes etapas:

- No primeiro dia, os quatro especialistas foram conduzidos a uma sala, onde receberam uma explicação detalhada sobre a ontologia OMMEL ao longo de uma hora. Durante esse período, foram abordados conceitos como ontologias e sua relação com filosofia, metafísica, ciência da informação e computação, além das diversas etapas que culminaram no desenvolvimento da OMMEL. Nesse contexto, o questionário foi distribuído, permitindo que os especialistas absorvessem o conteúdo das perguntas, promovendo reflexão antes de suas respostas. Eles foram informados de que, no dia 8 de março, ocorreria um segundo encontro para esclarecer dúvidas, sendo que a resposta ao questionário seria efetuada presencialmente somente no dia 10 de março.
- No segundo dia, durante o segundo encontro, foram esclarecidas dúvidas dos especialistas, abordando temas como as capacidades da ontologia OMMEL em fornecer respostas, inclusive se classes não diretamente conectadas poderiam estabelecer links

e silogismos. Além disso, mesmo sem dúvidas, os especialistas iniciaram naturalmente uma sessão de *brainstorming*. Com base nessas ideias, ficou acordado que sugestões deveriam ser registradas no questionário, especialmente na seção de perguntas livres.

- No terceiro dia, antes do início das respostas ao questionário, foi concedido um período adicional para esclarecer eventuais dúvidas, que, na prática, não existiam. Os especialistas responderam individualmente ao questionário, sem restrições de tempo ou limite de linhas para as questões livres.

Tabela 6.1: Questionário

ID	Pergunta
1	Há quanto tempo você trabalha com manutenção de equipamentos eletrônicos na atual empresa?
2	A Pesquisadora Executora mostrou e explicou o diagrama que descreve a ontologia <i>Ontology for Maintenance Management of an Electronics Laboratory (OMMEL)</i> ?
3	Você entendeu o diagrama?
4	Você considera que as classes representam fielmente os itens preenchidos no formulário de manutenção?
5	Você considera que os relacionamentos entre as classes representam fielmente as relações entre os itens preenchidos no formulário de manutenção?
6	Você acredita que a adição de mais algum item no diagrama da ontologia, que não esteja originalmente no formulário de manutenção, iria trazer benefícios para um futuro sistema software voltado para o aumento da eficiência dos serviços de manutenção?
7	Caso concorde, qual seria, com qual outro item estaria relacionado e qual seria esta relação?
8	Como você acredita que a utilização de uma ontologia poderia vir a aumentar a eficiência dos serviços de manutenção eletrônica?

A Tabela 6.1 exhibe as perguntas do questionário. Essas perguntas buscaram compreender se, após as explicações da pesquisadora, a demonstração do modelo conceitual gerado, as classes e suas relações de fato representavam o contexto do laboratório. Devido a oportunidade da reunião de todos, optou-se também por proporcionar perguntas de livre resposta para que pudesse ser desvendados perspectivas para além do que se retratou com a ontologia.

As respostas para a pergunta 1 mostrou que, considerando que o laboratório possuía seis anos de funcionamento (à época que estas perguntas foram tomadas), o

tempo de experiência dos especialistas varia bastante, podendo-se dizer que um deles possui muita experiência, pois trabalha deste a fundação, outro possui pouco tempo de experiência e os outros dois possuem tempo médio de experiência.

As perguntas de 2 a 6 eram de múltipla escolha, obedecendo a escala de Likert com opções "Discorda"(D), "Discorda Totalmente"(DT), "Neutro"(N), "Concorda"(C) e "Concorda Totalmente"(CT). Tais respostas estão ilustradas pela Figura 6.2.

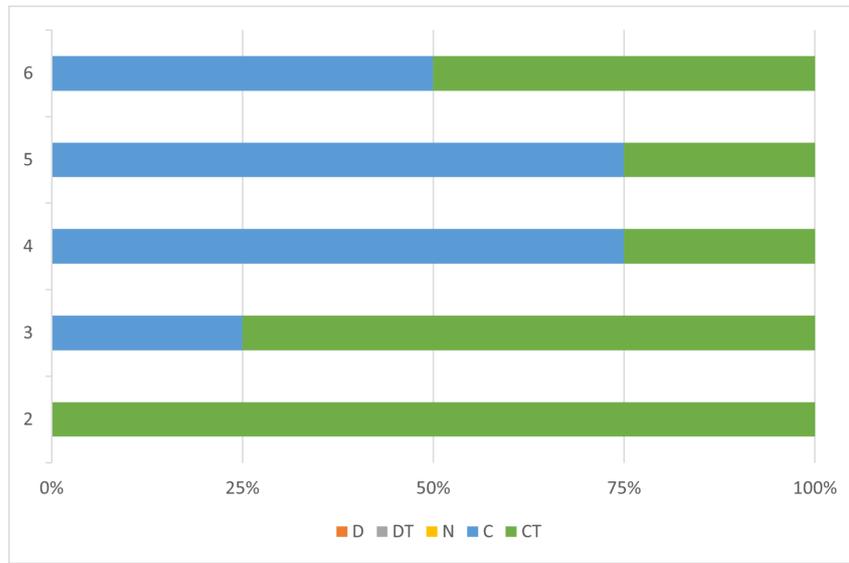


Figura 6.2: Respostas das perguntas de 2 a 6 do questionário

As respostas da pergunta 2 mostraram que todos os especialistas "Concordaram Totalmente" que o diagrama de modelagem foi apresentado e explicado, já na pergunta 3, apenas um participante respondeu que "Concordou" em relação à compreensão do diagrama, enquanto todos os outros "Concordaram Totalmente".

As respostas da pergunta 4, mostraram que dentre todos os especialistas, somente um "Concordou Totalmente" que as classes e relações descritas pelo diagrama representam fielmente o formulário de manutenção, um dos documentos utilizados para a conceituação da ontologia, a principal ferramenta atual para o gerenciamento de manutenção no laboratório, enquanto os demais apenas "Concordaram". A mesma relação de respostas foi vista para a pergunta 5.

Já na pergunta 6, ao questionar se a adição de mais itens e relações à ontologia traria benefícios para um futuro sistema de software focado na eficiência do serviço de manutenção, metade dos participantes "Concordou" e a outra metade "Concordou Totalmente".

Na sétima pergunta, os participantes foram convidados a complementar suas respostas à sexta pergunta, que era uma pergunta aberta, oferecendo sugestões de novos itens e relações que consideravam importantes e interessantes para a ontologia. O principal objetivo dessas sugestões era aumentar a eficiência e a eficácia da manutenção de equipamentos eletrônicos, que é um dos principais benefícios do uso de ontologias nesse contexto.

Entre as sugestões oferecidas pelos participantes, destacam-se informações sobre o solicitante, feedback após a conclusão da manutenção, medição do tempo e dos recursos envolvidos na manutenção, estimativa de custos e materiais, e rastreamento pós-manutenção. Essas sugestões visam não apenas melhorar a eficiência e a eficácia da manutenção, mas também reduzir os custos, o que é essencial em um contexto empresarial.

No entanto, sugestões relacionadas a custos exigem uma avaliação cuidadosa em relação aos recursos do banco de dados e às tecnologias necessárias para implementá-las adequadamente. Por esse motivo, essas sugestões não serão viáveis para a implementação inicial da ontologia, que se concentrou apenas em aumentar a eficiência e a eficácia dos serviços de manutenção.

A oitava e última pergunta, também uma pergunta aberta, buscou compreender como cada participante acreditava que o uso de um sistema baseado em ontologia aumentaria a eficiência dos serviços de manutenção eletrônica.

Em geral, concordam que os serviços de manutenção são complexos e consomem tempo na análise, diagnóstico e reparo de falhas, e a ontologia pode ser uma ferramenta para otimização de processos e economia de tempo, liberando profissionais para outras atividades.

Uma das principais vantagens apontadas pelos participantes é a agilidade na resposta a solicitações, o que pode reduzir o tempo de espera para reparo de equipamentos e garantir um serviço mais rápido e eficiente. Além disso, enfatizam a importância de ter informações claras e assertivas para a equipe de manutenção, o que pode ser alcançado por meio de um sistema para consulta de defeitos e soluções catalogados em um único banco de dados.

Outro ponto relevante é a melhoria na eficiência do diagnóstico de falhas e nos

processos de manutenção, que podem ser aprimorados pela ontologia. Os participantes destacam que a ontologia pode proporcionar uma visão sistêmica e integrada do processo, aprimorando a comunicação entre operação e manutenção e possibilitando uma análise mais precisa das informações disponíveis.

Outro benefício mencionado pelos participantes é a acessibilidade das informações, com custos de manutenção, inventário de componentes e histórico de manutenção facilmente acessíveis a todos os envolvidos no processo. Essa transparência na comunicação pode melhorar a eficiência e a colaboração entre os diferentes departamentos envolvidos na manutenção de componentes eletrônicos, o que pode resultar em uma melhoria geral no desempenho do processo.

Em resumo, os participantes demonstram clareza sobre os benefícios da aplicação de uma ontologia de domínio ao processo de manutenção de componentes eletrônicos, enfatizando aspectos como economia de tempo, aprimoramento do diagnóstico de falhas e comunicação integrada entre operação e manutenção, exemplificando cada um desses pontos com situações práticas.

6.2.4 Avaliação da Ferramenta FastMain

Nesta subseção serão apresentados apenas resultados relativos ao desenvolvimento da ferramenta FastMain.

6.2.5 Análise dos Resultados Exibidos

A ferramenta FastMain, conforme discutido no Capítulo 5, oferece duas abordagens de busca para identificar problemas e soluções: uma baseada no número de série (*Serial Number*) e outra no número da peça (*Part Number*). O método de busca por número fornece resultados específicos.

Por outro lado, a busca por descrição gera resultados mais abrangentes. Inicialmente, o algoritmo realiza uma comparação usando as descrições, mas a apresentação final é feita com base nos números de peça associados às descrições semelhantes, cujo fluxo lógico pode ser melhor compreendido por meio do Algoritmo 2 do Apêndice C.

Essa dinâmica pode ser mais claramente compreendida ao analisar as Figuras

6.3 e 6.4. Uma busca pela descrição "cartão atracando todos as contadoras", escrita de maneira intencionalmente incorreta, com um índice de similaridade superior a 60%, é exemplificada.

por descrição do problema

Buscar

%	Componente	Descrição	Situação	Solução	Dias
88	Cartão_Komatsu	CARTÃO ACIONANDO TODAS AS CONTADORAS.	Aprovado	PRIMEIRAMENTE FOI REALIZADO A LIMPEZA DO CARTÃO E DURANTE INSPEÇÃO EM BANCADA NÃO FORAM ENCONTRADAS TRILHAS ROMPIDAS. APÓS ESSE PROCEDIMENTO FORAM REALIZADOS TESTES FUNCIONAIS E FOI VERIFICADO QUE C U29 ESTAVA DANIFICADO SENDO O MESMO SUBSTITUÍDO. APÓS SUBSTITUIÇÃO TESTES DE LEITURA E ATUAÇÃO DO CARTÃO FUNCIONARAM NORMALMENTE EM BANCADA APÓS SE FAZ NECESSÁRIO TESTES NO CAMINHÃO.	516
66	Cartão_Komatsu	SOLICITAÇÃO DE TESTES FUNCIONAIS EM BANCADA.	Aprovado	PRIMEIRAMENTE FOI REALIZADO A LIMPEZA DO CARTÃO E DURANTE INSPEÇÃO EM BANCADA NÃO FORAM ENCONTRADAS TRILHAS ROMPIDAS. APÓS ESSE PROCEDIMENTO FORAM REALIZADOS TESTES FUNCIONAIS DE LEITURA E ATUAÇÃO DO CARTÃO E OS MESMOS FUNCIONARAM NORMALMENTE APÓS SE FAZ NECESSÁRIO TESTES NO CAMINHÃO.	515
66	Cartão_Komatsu	FALHA DE FUNCIONAMENTO.	Aprovado	PRIMEIRAMENTE FOI REALIZADO A LIMPEZA DO CARTÃO E DURANTE INSPEÇÃO EM BANCADA NÃO FORAM ENCONTRADAS TRILHAS COM DEFETOS. APÓS ESSES PROCEDIMENTOS FORAM REALIZADOS TESTES FUNCIONAIS E FOI VERIFICADO QUE C U29 ESTAVA DANIFICADO SENDO O MESMO SUBSTITUÍDO. APÓS SUBSTITUIÇÃO OS TESTES DE LEITURA E ATUAÇÃO DO CARTÃO FUNCIONARAM NORMALMENTE.	517
66	Cartão_Komatsu	testes em cartão para atender a operação UMAX	Aprovado	PRIMEIRAMENTE FOI REALIZADO A LIMPEZA DO CARTÃO E DURANTE INSPEÇÃO EM BANCADA VERIFICOU-SE O MAL FUNCIONAMENTO DO CARTÃO DEVIDO AO FALHA NO C U29 (74ACT640). APÓS ESSE PROCEDIMENTO FORAM REALIZADOS TESTES FUNCIONAIS DE LEITURA E ATUAÇÃO DO CARTÃO E OS MESMOS FUNCIONARAM NORMALMENTE APÓS SE FAZ NECESSÁRIO TESTES NO CAMINHÃO.	513

Figura 6.3: Primeiros resultados da busca pela descrição *cartão atracando todos as contadoras*

A Figura 6.3 indica que, dos resultados obtidos, apenas um possui um índice de similaridade acima de 85%, enquanto os demais variam na faixa de 60% a 70%. Observa-se que algumas descrições não são semelhantes à entrada do usuário, pelo fato de que a exibição final depende do número de série, como já explicado. Além disso, mesmo descrições com baixa similaridade ainda são exibidas devido à correspondência com números de peça associados, nos quais pelo menos um possui descrição semelhante.

66	Cartão_Komatsu	FALHA INCONSISTENTE	Aprovado	PRIMEIRAMENTE FOI REALIZADO A LIMPEZA DO CARTÃO E DURANTE INSPEÇÃO EM BANCADA VERIFICOU-SE O MAL FUNCIONAMENTO DO CARTÃO DEVIDO AO FALHA NO C U29 (74ACT640). APÓS ESSE PROCEDIMENTO FORAM REALIZADOS TESTES FUNCIONAIS DE LEITURA E ATUAÇÃO DO CARTÃO E OS MESMOS FUNCIONARAM NORMALMENTE APÓS SE FAZ NECESSÁRIO TESTES NO CAMINHÃO.	514
66	Cartão_Komatsu	NÃO LIGA O PAINEL E ACIONA TODOS CONTADORES.	Aprovado	PRIMEIRAMENTE FOI REALIZADO A LIMPEZA DO CARTÃO E DURANTE INSPEÇÃO EM BANCADA FOI VERIFICADO QUE C U29 (74ACT640) ESTAVA APRESENTANDO CURTO - CIRCUITO SENDO NECESSÁRIO A TROCA DO MESMO E A TRILHA DO Q8 ESTAVA ROMPIDA. APÓS A TROCA DO COMPONENTE COM DEFETO E REPARO NA TRILHA FORAM REALIZADOS TESTES FUNCIONAIS DE LEITURA E ATUAÇÃO DO CARTÃO E OS MESMOS PERFORMARAM APÓS SE FAZ NECESSÁRIO TESTES NO CAMINHÃO.	509
66	Cartão_Komatsu	NÃO LIGA O PAINEL E ACIONA TODOS CONTADORES.	Aprovado	PRIMEIRAMENTE FOI REALIZADO A LIMPEZA DO CARTÃO E DURANTE INSPEÇÃO EM BANCADA FOI VERIFICADO QUE A TRILHAS REFERENTES AO MOSFET Q5Q6 E Q8 ESTAVAM ROMPIDAS DEVIDO A UM CURTO-CIRCUITO QUE CONSEQUENTEMENTE LEVOU A QUEIMA DO MOSFET Q8. TAMBÉM FOI OBSERVADO QUE C U29 ESTAVA OPERANDO DE FORMA IRREGULAR. APÓS O REPARO DAS TRILHAS E TROCA DOS COMPONENTES COM DEFETO FORAM REALIZADOS TESTES FUNCIONAIS DE LEITURA E ATUAÇÃO DO CARTÃO E OS MESMOS PERFORMARAM APÓS SE FAZ NECESSÁRIO TESTES NO CAMINHÃO.	509
66	Cartão_Komatsu	CARTÃO COM FALHA NO ACIONAMENTO DOS CONTADORES	Aprovado	PRIMEIRAMENTE FOI REALIZADO A LIMPEZA DO CARTÃO E DURANTE INSPEÇÃO EM BANCADA VERIFICOU-SE O MAL FUNCIONAMENTO DO CARTÃO NA LINHA DE SVEFETO REPARAÇÃO COM SUBSTITUIÇÃO DO C U29 (74ACT640). APÓS ESSE PROCEDIMENTO FORAM REALIZADOS TESTES FUNCIONAIS DE LEITURA E ATUAÇÃO DO CARTÃO E OS MESMOS FUNCIONARAM NORMALMENTE APÓS SE FAZ NECESSÁRIO TESTES NO CAMINHÃO.	509

Figura 6.4: Demais resultados da busca pela descrição *cartão atracando todos as contadoras*

No entanto, ao examinar as duas imagens, nota-se que descrições tanto similares

quanto não similares estão associadas a soluções altamente semelhantes, com a troca do Circuito Integrado (CI) U29. Essa observação suscita questionamentos que podem motivar uma investigação mais detalhada, visando aprimorar ainda mais o sistema.

6.2.6 Análise do *Lead Time*

A aplicação FastMain foi executada em um servidor local, hospedado em uma máquina dedicada (Intel® Core™ i5-1135G7, 16 GB DDR4-3200MHz (SODIMM), 512 GB SSD M.2 2280 PCIe TLC Opal) fornecida pelo laboratório. Essa abordagem foi adotada para assegurar a conformidade com as diretrizes de cibersegurança da empresa, evitando procedimentos internos burocráticos.

Os dados foram coletados ao longo de 48 dias úteis, de 4 de dezembro de 2023 a 9 de fevereiro de 2024. Nesse período, 79 itens foram impactados pela FastMain, e o tempo de horas trabalhadas foi registrado e comparado com a média histórica.

Dentre os 16 grupos de componentes eletrônicos presentes na ontologia OMMEL, conforme ilustrado na Figura 4.10, apenas componentes de cinco desses grupos estiveram envolvidos durante o período de coleta de dados.

A Figura 6.5 apresenta uma clara visualização dos resultados. As barras cinza claras representam a média de horas trabalhadas antes da aplicação da FastMain (A.FM), enquanto as barras cinza escuras representam a média de horas trabalhadas após a implementação da ferramenta FastMain (D.FM).

A linha preta é incorporada para demonstrar a diferença percentual entre os dois cenários. Observa-se que grupos com médias historicamente menores experimentaram uma economia de tempo mais significativa com o uso da ferramenta. Isso pode ser atribuído à simplicidade dos problemas desses grupos, não refletindo necessariamente a eficácia da ferramenta, mas sim a natureza mais direta dos problemas. Ao pesquisar problemas desses grupos na FastMain, a probabilidade de a solução apresentada ser correta é notavelmente alta.

Por outro lado, o grupo 2 compreende componentes eletrônicos de maior complexidade, acarretando problemas igualmente complexos. Ao consultar a FastMain para problemas desse grupo, soluções eram retornadas, abordando parte do circuito, mas não

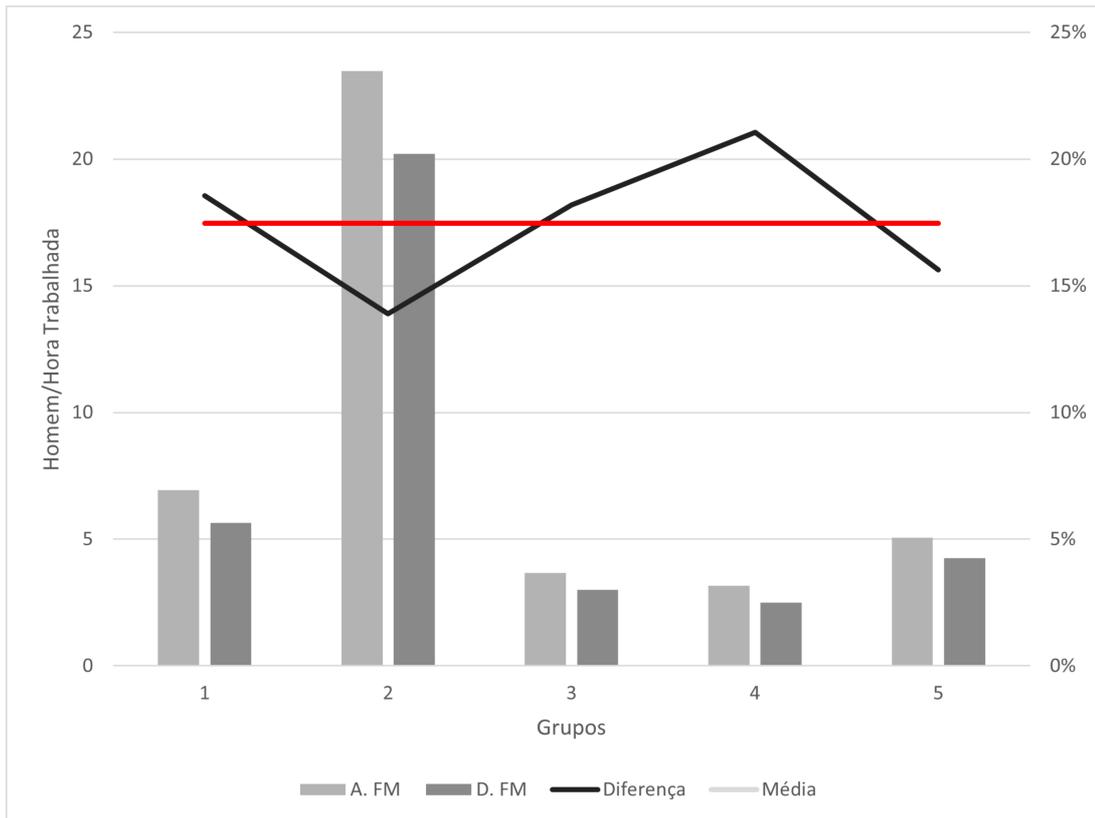


Figura 6.5: Análise de *Lead Time* após utilização da ferramenta FastMain

restaurando o componente como um todo. Isso demandava mais investigação por parte dos especialistas. Esse grupo apresentou uma economia de tempo menor, mas ainda assim evidenciou uma otimização significativa no processo.

6.3 Considerações Finais do Capítulo

Um trabalho que incorporou dois desenvolvimentos distintos naturalmente demandaria um capítulo dedicado à avaliação de cada um, considerando a relevância de ambos. A criação de um sistema baseado em ontologia pressupõe a existência prévia dessa ontologia. Sem ela, é necessário criá-la. Esse processo de criação exige uma abordagem cuidadosa e responsável, pois a ontologia deve representar de maneira precisa o domínio em questão.

Após o minucioso processo de criação da ontologia OMMEL, chegou o momento de validá-la com os especialistas. Apesar de considerarmos literaturas técnicas durante o desenvolvimento, são esses profissionais que vivenciam diariamente a realidade do laboratório, detendo conhecimento preciso sobre o que é relevante ao criar um sistema que os beneficie.

A avaliação da ontologia foi conduzida por meio de um questionário respondido pelos especialistas. As perguntas 4 e 5 foram elaboradas para provocar uma reflexão sobre se as classes e seus relacionamentos representavam fielmente o formulário. Vale destacar que a resposta "concordo totalmente" provinda do especialista com mais tempo de experiência evidencia sua confiança. Após indagações aos demais especialistas sobre a resposta "concordo", ficou claro o desejo de que a ontologia não apenas refletisse o relatório existente, mas também incorporasse mais classes e relações para abranger pensamentos e perspectivas futuras, uma consideração que não seria abordada neste trabalho.

Após a validação da ontologia, a implementação da ferramenta FastMain foi conduzida não apenas para testar a ontologia, mas também para compreender como ela poderia impactar o ambiente em que está inserida.

Devido à restrição de tempo para dedicar-se plenamente ao desenvolvimento de um sistema que aproveitasse todo o potencial da ontologia, optou-se por focar apenas na parte relacionada aos eventos de manutenção.

A própria ferramenta, tanto o backend quanto o frontend, passou por alterações sugeridas pelos especialistas ao longo de um mês. Após consenso de que a ferramenta atingiu uma estética amigável e propícia para consultas, essencial para sua efetiva utilização pelos especialistas, as coletas de dados foram iniciadas a partir dessa data.

Realizou-se uma análise das horas trabalhadas em cada conjunto de componentes, abrangendo dados desde o ano de 2021, quando começaram a ser utilizados os relatórios de manutenção. Observou-se uma redução gradual das horas trabalhadas ao longo do tempo, evidenciando o aprimoramento da experiência dos especialistas. Antes da implementação da ferramenta FastMain, a média histórica de horas trabalhadas era consideravelmente elevada, tornando a redução de 17% um valor significativo que poderá decair ao longo do tempo.

No entanto, vale destacar que o desenvolvimento do sistema e sua implementação continuam a ser relevantes, pois proporcionam a explicitação do conhecimento acumulado ao longo do tempo, anteriormente de difícil acesso. Impressões abrangentes vindo dos especialistas durante a utilização da FastMain serão discutida no Capítulo 7.

7 Conclusões e Perspectivas Futuras

Este trabalho de dissertação abordou de maneira abrangente a busca por melhorias na eficiência dos serviços de manutenção de um laboratório de eletrônica, que presta serviços à empresa proprietária. A empresa, por sua vez, atua no setor industrial de grandes movimentações de terra para extrações minerais. Possuindo uma frota de equipamentos pesados especializados nessas operações, é fundamental realizar manutenções, por vezes corretivas, para garantir a continuidade dos trabalhos sem impactos financeiros significativos.

Esses equipamentos pesados, assim como veículos de passeio comuns, possuem componentes eletrônicos essenciais para o funcionamento adequado de diversos sistemas, como motor, freio, transmissão, entre outros. Quando esses componentes eletrônicos apresentam falhas, são enviados ao laboratório que está geograficamente em outro local, com um relatório de defeito que pode gerar dificuldades de compreensão. Após a resolução do problema, é criado um novo relatório de manutenção contendo a descrição da solução, o qual é armazenado apenas para fins de rastreabilidade. Até o momento, não havia uma abordagem sistemática para a gestão desse conhecimento.

Identificou-se uma oportunidade de conduzir uma pesquisa aplicada para analisar o impacto de um sistema computacional baseado em ontologias na eficiência do contexto específico. Dado a ausência de uma ontologia para esse domínio, foi obrigatório criar uma, envolvendo um trabalho extenso com critérios rigorosos para assegurar que esta primeira versão representasse o domínio dos serviços de manutenção do laboratório de eletrônica. Os especialistas, usuários finais não só validaram a ontologia e forneceram observações para futuras melhorias.

Após a publicação do artigo que descrevia esse desenvolvimento no *12th Latin-American Symposium on Dependable and Secure Computing 2023*, foi recebido um convite do grupo *Semantics, Cybersecurity & Services* para contribuir com o catálogo de ontologia da UFO, utilizando o modelo conceitual da ontologia OMMEL.

Com a elaboração e validação da OMMEL, desenvolveu-se a FastMain, uma fer-

ramenta web baseada na ontologia, para observar a utilização e impacto da OMMEL no contexto. Não apenas houve uma melhoria na eficiência, mas também foram projetados impactos positivos significativos, conforme relatado na Seção 7.1.

7.1 Contribuições

Os especialistas do laboratório anteciparam benefícios substanciais com a implementação desta abordagem, que vão além da redução no tempo necessário para a manutenção de componentes.

A contratação de um novo funcionário é um processo custoso, envolvendo não apenas despesas salariais, mas também custos associados à formação e integração. Dependendo do nível de experiência, pode ser necessário que um funcionário mais experiente dedique até três meses para orientar, transmitir a cultura da empresa e ensinar procedimentos de serviço específicos. Durante esse período, o funcionário experiente precisa alocar parte do seu tempo de trabalho para fornecer essa orientação.

Com a implementação da FastMain, os novos funcionários terão fácil acesso às informações necessárias para a manutenção por meio de pesquisas de solução de problemas. Isso significa que os funcionários experientes só precisarão intervir pontualmente, pois o novo membro da equipe pode encontrar, de forma independente, o conhecimento necessário. Essa abordagem não apenas acelera o processo de aprendizado para o novo funcionário, mas também reduz a carga de trabalho dos funcionários mais experientes, permitindo que se concentrem mais em suas responsabilidades principais.

7.2 Limitações e Ameaças à Validade

Devido a não haver um contexto igual ou parecido e pelo fato da ontologia ter sido desenvolvida focada em um específico laboratório de eletrônica, a quantidade de pessoas que foram questionadas sobre a sua validade foi pouca, apesar de se tratar da população inteira.

A abordagem do FastMain ainda não está demonstrando seu potencial total devido ao pouco tempo restante de dedicação de sua criação, portanto não integra como

um todo a ontologia OMMEL. Como é um desenvolvimento focado na indústria, que está ansiosa por resultados, a decisão foi tomar desenvolvimentos incrementais após testar produtos minimamente viáveis, seguindo metodologias ágeis de desenvolvimento.

Essa metodologia de desenvolvimento também facilitou os testes e aumentou a participação da equipe de laboratório na busca por uma abordagem que realmente traga valor prático ao seu trabalho diário. Com isso, chegou-se a conclusão que havia tempo hábil apenas para aplicar a parte relacionada a eventos de manutenção.

Anualmente, cerca de 422 componentes eletrônicos são encaminhados ao laboratório para a resolução de problemas. Com uma média de 251 dias úteis trabalhados por ano, teoricamente, aproximadamente 80 itens deveriam ter sido impactados na FastMain. Assim, a média de redução de 17% nas horas trabalhadas, observada nas 79 amostras, poderá sofrer alterações positivas ou negativas quando observadas em uma amostra maior.

7.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pode-se elencar alguns principais:

- Incrementar a OMMEL com as perspectivas levantadas pelos especialistas, no que se diz respeito sobre os eventos pré manutenção e pós manutenção;
- Adicionar a FastMain demais partes da OMMEL;
- Criar uma pontuação entre solução dada e o especialista que a deu, a fim de criar uma lista de soluções mais relevantes;
- Tornar a ferramenta de utilização abrangente na empresa, em um portal de troca de informações já existente;

Bibliografia

Protegé. 2023. Acessado: 22-10-2023.

Afacan Y., Demirkan H. An Ontology-Based Universal Design Knowledge Support System // Know.-Based Syst. may 2011. 24, 4. 530–541.

Afzal M., Hussain M., Ali Khan W., Ali T., Lee S., Huh E.-N., Farooq Ahmad H., Jamshed A., Iqbal H., Irfan M., Abbas Hydari M. Comprehensible knowledge model creation for cancer treatment decision making // Computers in Biology and Medicine. 2017. 82. 119–129.

Almeida M. B. Revisiting ontologies: A necessary clarification // J. Assoc. Inf. Sci. Technol. 2013. 64. 1682–1693.

Almeida M. B. Ontologia Em Ciência da Informação. Teoria E Método. 2020.

Andrew O., Muhwezi L., Muhumuza Kakitahi J. Investigating equipment productivity in feeder road maintenance in Uganda // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. 01 2023. 17.

Arp R., Smith B., Spear A. D. Building Ontologies with Basic Formal Ontology. 2015.

Baumeister J., Striffler A. Knowledge-driven systems for episodic decision support // Knowledge-Based Systems. 2015. 88. 45–56.

Chang C.-Y., Tsai M.-D. Knowledge-based navigation system for building health diagnosis // Advanced Engineering Informatics. 2013. 27, 2. 246–260.

Choo C.W. A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões. 2003.

Chua K., Thinakaran R., Vasudevan A. Knowledge Sharing Barriers in Organizations - A Review // TEM Journal. 02 2023. 12. 184–191.

Coelho K. C., Almeida M. B. Aquisição de conhecimento para construção de ontologias: uma proposta de roteiro metodológico aplicado ao contexto da hematologia // Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação. dez. 2012. 17, 35. 47–74.

Curilem M., Huanquilef C., Acuna G., Cubillos F., Araya B., Segovia G., Pérez C. Prediction of the criticality of a heavy duty mining equipment // 2015 Latin America Congress on Computational Intelligence (LA-CCI). 2015. 1–5.

Davenport T., Prusak L. Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know. 1. 01 1998.

Doumbouya M. B., Kamsu-Foguem B., Kenfack H., Foguem C. Argumentative reasoning and taxonomic analysis for the identification of medical errors // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2015. 46. 166–179.

- Doumbouya M. B., Kamsu-Foguem B., Kenfack H., Foguem C.* Argumentation graphs with constraint-based reasoning for collaborative expertise // *Future Generation Computer Systems*. 2018. 81. 16–29.
- Eberhard , David M., Simons Gary F., Fennig C. D.* What are the top 200 most spoken languages? 2022.
- Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A., Juristo N.* METHONTOLOGY: from Ontological Art towards Ontological Engineering // *Proceedings of the AAAI97 Spring Symposium*. Stanford, USA, March 1997. 33–40.
- Garcia A. C. B., Vivacqua A. S.* Grounding knowledge acquisition with ontology explanation: A case study // *Journal of Web Semantics*. 2019. 57. 100487.
- German E., Leibowitz A., Shahar Y.* An architecture for linking medical decision-support applications to clinical databases and its evaluation // *Journal of biomedical informatics*. April 2009. 42, 2. 203—218.
- Gransberg D. D., Popescu C. M., Ryan R.* Construction equipment management for engineers, estimators, and owners. 2006.
- Gruber T.* Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing // *International Journal of Human-Computer Studies*. 08 1994. 43.
- Gruninger M., Bodenreider O., Olken F., Obrst L., Yim P.* Ontology Summit 2007 - Ontology, Taxonomy, Folksonomy: Understanding the Distinctions // *Appl. Ontol.* aug 2008. 3, 3. 191–200.
- Guizzardi G., Benevides A., Fonseca C., Porello D., Almeida J., Sales T. P.* UFO: Unified Foundational Ontology // *Applied Ontology*. 01 2022.
- Gunathunga S.* Harnessing microbial processes to address top-soil deficits in coal mine rehabilitation. Disponível em: <https://environment.uq.edu.au/files/41043/SamadhiGunathunga.pdf>. 2022.
- Guo L., Yan F., Li T., Yang T., Lu Y.* An Automatic Method for Constructing Machining Process Knowledge Base from Knowledge Graph // *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* feb 2022. 73, C.
- Hartman H.L., Mutmansky J.M.* *Introductory Mining Engineering*. 2002.
- Hennig B.* Chapter 2: What is Formal Ontology? // *Applied Ontology*. Berlin, Boston: De Gruyter, 2008. 39–56.
- ISO .* Information technology – Top-level ontologies (TLO) – Part 1: Requirements. Geneva, CH, VIII 2021a.
- ISO .* Information technology – Top-level ontologies (TLO) – Part 2: Basic Formal Ontology (BFO). Geneva, CH, VIII 2021b.
- Mendonça F. M.* *Ontoforinfoscience: metodologia para construção de ontologias pelos cientistas da informação - Uma aplicação prática no desenvolvimento da ontologia sobre componentes do sangue humano (HEMONTO)*. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Ciência da Informação. Belo Horizonte, 2015.

- Nonaka I., Takeuchi H.* The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press, 1995.
- North K., Kumta G.* Knowledge Management: Value Creation Through Organizational Learning. 2016.
- Noy N., Mcguinness D.* Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology // Knowledge Systems Laboratory. 01 2001. 32.
- Ouertani M.Z., Baïna S., Gzara L., Morel G.* Traceability and management of dispersed product knowledge during design and manufacturing // Computer-Aided Design. 2011. 43, 5. 546–562. Emerging Industry Needs for Frameworks and Technologies for Exchanging and Sharing Product Lifecycle Knowledge.
- A Survey of Top-Level Ontologies - to inform the ontological choices for a Foundation Data Model. // . 2020.
- Peng G., Wang H., Zhang H., Zhao Y., Johnson A. L.* A collaborative system for capturing and reusing in-context design knowledge with an integrated representation model // Advanced Engineering Informatics. 2017. 33. 314–329.
- Perkins D.* Mineralogy. 2011.
- Petrie C. J.* The TOVE Project: Towards a Common-Sense Model of the Enterprise // Enterprise Integration Modeling: Proceedings of the First International Conference. 1992. 310–319.
- Ruiz M., Costal D., España S., Franch X., Pastor Ó.* GoBIS: An integrated framework to analyse the goal and business process perspectives in information systems // Information Systems. 2015. 53. 330–345.
- Shahinmoghdam M., Nazari A., Zandieh M.* CA-FCM: Towards a formal representation of expert's causal judgements over construction project changes // Advanced Engineering Informatics. 10 2018. 38. 620–638.
- Spoladore D., Pessot E.* An evaluation of agile Ontology Engineering Methodologies for the digital transformation of companies // Computers in Industry. 2022. 140. 103690.
- Studer R., Benjamins V. R., Fensel D.* Knowledge engineering: principles and methods. Data Knowl Eng 25(1-2):161-197 // Data Knowledge Engineering. 03 1998. 25. 161–197.
- The NeOn Methodology for Ontology Engineering. // . 01 2012. 9–34.
- Teixeira Marangon L. D., Modesto M. L., Emygdio J. L., Moreira C., Almeida M. B.* Conhecimento Especializado no Domínio da Energia Elétrica: Estudo de caso sobre a aquisição do conhecimento para ontologia // Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação. fev. 2021. 26. 01–28.
- Towards a Methodology for Building Ontologies. // . 1995.
- Insights on the Use and Application of Ontology and Conceptual Modeling Languages in Ontology-Driven Conceptual Modeling. // . 11 2016. 83–97.
- Wiig K. M.* Knowledge Management: An Introduction and Perspective // J. Knowl. Manag. 1997. 1. 6–14.

Wohlin C., Runeson P., Höst M., Ohlsson M. C., Regnell B. Experimentation in Software Engineering. 2012. I–XXIII, 1–236.

Watróbski J. Towards Knowledge Handling in Sustainable Management Domain // Procedia Computer Science. 2019. 159. 1591–1601. Knowledge-Based and Intelligent Information Engineering Systems: Proceedings of the 23rd International Conference KES2019.

Zhang Y.-F., Gou L., Zhou T.-S., Lin D.-N., Zheng J., Li Y., Li J.-S. An ontology-based approach to patient follow-up assessment for continuous and personalized chronic disease management // Journal of Biomedical Informatics. 2017. 72. 45–59.

Zhi-Hai C., Shu H., Ping Z., Zhijie L. Investigation of remanufacturing technology and evaluation system of heavy duty caterpillar engine // 5th International Conference on Responsive Manufacturing - Green Manufacturing (ICRM 2010). 2010. 19–24.

????

A Tabelas de Conceitualização

Tabela A.1: Tabela de Conceitos e Valores

ID = 1
Conceito
Electronic Control Group
Sinônimos
-
Definição
Os grupos de controle eletrônico leem várias saídas do sensor e controla os sistemas necessários para fornecer o desempenho ideal da máquina em operações de equipamentos para serviços pesados Caterpillar.
Valores

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

<p>CONTROLE 336D, CONTROLE 374DL, CONTROLE 777F, CONTROLE CATERPILLAR TRANSMISSÃO, CONTROLE CHASSI 740B, CONTROLE CHASSI 777F, CONTROLE CHASSI D9T, CONTROLE D6T, CONTROLE D9T, CONTROLE DA TRANSMISSÃO 777C, CONTROLE DE IMPLEMENTO 14M, CONTROLE ECM 777F, CONTROLE ECM MOTOR C15, CONTROLE ECM TRANSMISSÃO, CONTROLE ECM TRANSMISSÃO 740B, CONTROLE ECM TRANSMISSÃO 777F, CONTROLE ECM TRANSMISSÃO D9T, CONTROLE ECM VOLVO, CONTROLE ELETRÔNICO CATERPILLAR, CONTROLE FREIO 777F, CONTROLE MOTOR C11, CONTROLE MOTOR C11 - 14M, CONTROLE TRANSMISSÃO D9T, ECM CONTROLE C15, ECM CONTROLE C15-740B, ECM CONTROLE C18, ECM CONTROLE MOTOR CATERPILLAR, ECM CONTROLE MOTOR D9T, ECM MOTOR 365c, ECM MOTOR 365C - INDUSTRIAL, ECM MOTOR 777C, ECM MOTOR C15, ECM MOTOR C15 - 980h, ECM MOTOR C18, ECM MOTOR C32, ECM MOTOR C32 - CATERPILLAR, ECM MOTOR D11R, ECM TRANSMISSÃO CATERPILLAR 777F, ECM VIMS, MODULO 777G 4884875 CATERPILLAR.</p>
ID = 2
Conceito
Electronic Control Set
Sinônimos
-
Definição
Os conjuntos de controle eletrônico leem várias saídas dos sensores e fornece dados de operação atuais de equipamentos para serviços pesados Caterpillar.
Valores
ECM CONTROLE VIMS 3G, CONTROLE VIMS 777F, ECM VIMS CATERPILLAR 777F, ECM VIMS 777F, CONTROLE ECM VIMS.
ID = 3
Conceito

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

Data Link Adapter
Sinônimos
-
Definição
Ferramenta eletrônica utilizada para leitura de dados de módulos de controle eletrônicos instalados em motores.
Valores
FERRAMENTA INLINE 6 CUMMINS.
ID = 4
Conceito
Aid Box
Sinônimos
-
Definição
Painel que são conectados os cartões eletrônicos responsável pela comunicação do sistema de controle do caminhão diesel elétrico do modelo Komatsu 685.
Valores
Caixa de Aid.
ID = 5
Conceito
Analogic Card
Sinônimos
-
Definição
Cartão eletrônico responsável pela comunicação do sistema de controle do caminhão diesel elétrico.
Valores

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

CARTÃO KOMATSU STATEX 3 - 17FB140, CARTÃO STATEX III, CAMINHÃO KOMATSU 730E AK7945, cartão komatsu statex 3, CARTÃO KOMATSU STATEX 3, CARTÃO CAMINHÃO 685E XA3560, CARTAO 730E 58E0002140 KOMATSU, CARTÃO CPU KOMATSU, CARTAO 730E 58E0002140 KOMATSU, CARTAO 930E GE1758 KOMATSU.
ID = 6
Conceito
Digital Card
Sinônimos
-
Definição
Cartão eletrônico responsável pela comunicação do sistema de controle do caminhão diesel elétrico dos modelos Komatsu 730 e 930.
Valores
CARTÃO KOMATSU STATEX 3 - 17FB103, CARTÃO KOMATSU STATEX 3 - 17FB104, CARTÃO 685E GE309, CARTÃO 685E GE309 KOMATSU, CARTAO 685E GE0309 KOMATSU, CARTAO AK1991 KOMATSU, CARTÃO 685E, CARTÃO KOMATSU STATEX 3, CARTÃO STATEX 3 - KOMATSU, CARTÃO STATEX 2 - KOMATSU, CARTÃO KOMATSU STATEX 2, CARTÃO 730E, CARTÃO PAINEL AID N°5, CARTÃO DIODO N° 5, CIRCUITO IMPR 730E - CARTÃO 5, CARTÃO DIODO N° 8, CARTÃO 730E - CARTÃO 8, CARTÃO DIODO N° 1, DIODO 730E - CARTÃO 1, CARTAO 730E VJ8806 KOMATSU, CARTÃO DIODO N° 2, DIODO 730E - CARTÃO 2, CARTAO 730E VJ9024 KOMATSU, CARTÃO DIODO N° 3, CIRCUITO 730E - CARTÃO 3, CARTAO 730E VJ9025 KOMATSU, CARTÃO 685E 1110.
ID = 7
Conceito
Joystick

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

Sinônimos
-
Definição
Componente eletromecânico utilizado pelos operadores para mudança de estado de direção e aceleração do equipamento para serviços pesados.
Valores
controle Joystick HITACHI EX-5500, JOYSTICK 365C CAT, JOYSTICK D11T, JOYSTICK D65 ATLAS COPCO, JOYSTICK HITACHI.
ID = 8
Conceito
Electronic Control Module
Sinônimos
-
Definição
Módulo de controle eletrônico leem várias saídas de sensores e controla sistemas necessários para fornecer o desempenho ideal de escavadeiras para serviços pesados.
Valores
CONTROLE ECM QSK 45, ECM CUMMINS CENTRY QSK50, ECM CUMMINS QSK45, MÓDULO CENTRY QSK 50, MÓDULO QSK 50 - FILHO 01, MÓDULO QSK 50 - FILHO 02, MÓDULO QSK 50 - PAI, MÓDULO QSK50 - FILHO, MÓDULO QSK50 3654718 CUMMINS, MODULO QSK50 4921776 CUMMINS, MODULO QSK50 4921776 CUMMINS - CM 850.
ID = 9
Conceito
Instrument Panel
Sinônimos
-
Definição

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

São painéis responsáveis em mostrar ao operador do equipamento todas as informações geradas a partir da leitura dos dados pelo sistema de comunicação.
Valores
DISPLAY EX2600 FYA00001191 HITACHI, DISPLAY HITACHI, MÓDULO 16H, módulo painel motoniveladora 16H, MONITOR 740B, MONITOR HITACHI, monitor messenger 14M, PAINEL 740B, PAINEL 740B 3327644 CATERPILLAR, PAINEL 740B CATERPILLAR, PAINEL CATERPILLAR MOTONIVELADORA.
ID = 10
Conceito
ISO Panel
Sinônimos
-
Definição
Circuito responsável por isolar e amplificar a corrente do equipamento.
Valores
CARTÃO 730E - CARTÃO 7, CARTAO 730E PB5672 KOMATSU, CARTÃO DIODO N° 7, MÓDULO KOMATSU, PAINEL 685E ISOAMPLIFICADOR, PAINEL 685E PB5692 KOMATSU, PAINEL KOMATSU, PAINEL KOMATSU ISOAMPLIFICADOR, PAINEL MÓDULO ISO AMPLIFICADOR (3UNIDS).
ID = 11
Conceito
Relay
Sinônimos
-
Definição
Circuito responsável por pela proteção do equipamento.
Valores

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

PLACA 930E EK3806 KOMATSU, PLACA RELÉ 730E, PLACA RELE 930E EK3806 KOMATSU, RELÉ KOMATSU.
ID = 12
Conceito
VMM Panel
Sinônimos
-
Definição
Circuito responsável por isolar e amplificar a tensão do equipamento.
Valores
PAINEL VMM2, PLACA VMM2.
ID = 13
Conceito
General Electrical System
Sinônimos
-
Definição
Placas eletrônicas que compõem o sistema de comunicação do equipamento.
Valores
CAIXA SWITCH, CAPACITOR 0.5 uF KOMATSU 930E, CARTAO 730E VJ8805 KOMATSU, CARTÃO STATEX 2 - KOMATSU, CIRCUITO IMPR 730E PC0040 KOMATSU, CONVERSOR, FONTE EQUALIZ 730E, INTERRUPTOR, PAINEL MFLP, PAINEL TAD1140VE 23766385 VOLVO, PLACA CIRC 930E SM5403 KOMATSU, PLACA CSU, PLACA CSU HITACHI EX-2500, PLACA D65 3222302492 ATLAS COPCO, PLACA ELETRON 730E, PLACA IDENT, PLACA IDENT CSU, PLACA IDENTIDADE EX2500, PLACA VMM1, RELE 930E EK3813 KOMATSU, SENSOR 930E, SENSOR 930E KOMATSU - POWER SUPPLY.
ID = 14

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

Conceito
Lubrication Timer
Sinônimos
-
Definição
Responsáveis pela programação do intervalo e ação para controle do tempo de lubrificação.
Valores
PAINEL CONT 84015 LINCOLN.
ID = 15
Conceito
Electronic Control Unity
Sinônimos
-
Definição
Unidade de controle eletrônico leem várias saídas de sensores e controle sistemas necessários para fornecer o desempenho ideal dos caminhões Komatsu para serviços pesados.
Valores

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

UNIDADE CONTROLE HITACHI - DLU, CONTROLADOR EX-5500, CONTROLADOR EX5500 4621572 HITACHI, CONTROLADOR EX5500-6 MC2 / C1, CONTROLADOR MC2C ESCAVADEIRA EX2500 9273426 HITACHI, "CONTROLADOR MC2C EX-5600-6 HITACHI, CONTROLE DLU HITACHI, CONTROLE ECM 12V4000 MTU, CONTROLE ECM 12V4000 X00E50206653 MTU, CONTROLE ECM EX-2500, CONTROLE ECM EX2500-5 9205333 HITACHI, CONTROLE ECM EX2500-6 9299179 HITACHI, CONTROLE ECM MCF EX-1200-6, CONTROLE ECU HITACHI, CONTROLE ELU EX2600 YA60002332 HITACHI, CONTROLE ELU HITACHI EX-5500-6, CONTROLE EX-2500-5, CONTROLE HMU, CONTROLE HMU EX2500, CONTROLE HMU EX2500 9273427 HITACHI, CONTROLE HMU HITACHI EX-2500, CONTROLE IDU EX2600 FYA60010927 HITACHI, DLU, E23519309 MODULO DE CONTROLE ECM MTU, ECU, MODULO ELU EX5500-6 HITACHI, MODULO 685E, MODULO 730E, MÓDULO 730E gfm, MODULO 830E 58E4300181 KOMATSU, MÓDULO 930E, MODULO 930e GATE DRIVER, MODULO ADEC 12V4000 X00E50211198 MTU, MODULO D65 3176001615 ATLAS COPCO, MODULO D65 ATLAS COPCO, MÓDULO DLU HITACHI, MODULO DP1500I SANDVIK, MODULO EX5500 9205332 HITACHI, MÓDULO EX5500-5, MÓDULO GFM KOMATSU, MÓDULO HITACHI EX-2500, MÓDULO HITACHI EX-2500 - 6 - MC2, MÓDULO HITACHI EX-2500-5 mc2, MÓDULO HITACHI EX-5500 - 6 - ELU, MÓDULO KOMATSU, módulo KOMATSU PAYLOAD METER 3.
ID = 16
Conceito
Power Supply Unity
Sinônimos
-
Definição
Placas eletrônicas responsáveis por alimentar todo o sistema de comunicação dos equipamentos diesel elétrico.

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

Valores
CARTAO 730E AK1991 KOMATSU, CARTAO AK1991 KOMATSU, CARTÃO KOMATSU 930E, CARTÃO KOMATSU STATEX 3, CARTÃO KOMATSU STATEX 3 - 17FB100.
ID = 17
Conceito
ASSY Panel
Sinônimos
-
Definição
Faz parte do sistema de comunicado do diesel elétrico. Ele recebe os cartões, analógico, digital e fonte para poderem comunicarem entre si.
Valores
PAINEL MFLP - KOMATSU, PAINEL 730E 58D4300130 KOMATSU, PAINEL TPP KOMATSU PAINEL 730E, PAINEL DE CARTÕES KOMATSU STATEX 3, PAINEL 730E BF3736 KOMATSU (3UNIDS) ISO AMPLIFICADOR, PAINEL STATEX III 730E PB9511 KOMATSU, PAINEL 930 E PLACA VMM1, VMM1, PAINEL STATEX III 685E VE8415 KOMATSU, PAINEL 830E.
ID = 18
Conceito
Service Order Date
Sinônimos
-
Definição
Data na qual a ordem de serviço de manutenção foi criada.
Valores
10/04/2021
ID = 19

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

Conceito
Service Order Number
Sinônimos
-
Definição
Número único, identificador da ordem de serviço de manutenção.
Valores
10145668-01-290
ID = 20
Conceito
SAP Code
Sinônimos
-
Definição
Número único, identificador de um tipo de componente para a empresa.
Valores
110694
ID = 21
Conceito
Serial Number
Sinônimos
-
Definição
Número único, identificador de um único tipo de componente.
Valores
FB03010120S.
ID = 22
Conceito

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

Part Number
Sinônimos
-
Definição
Número identificador de uma família de peças. Todos os tipos de componentes iguais precisam ter o mesmo número de peça.
Valores
17FB104B2 / GE0309.
ID = 23
Conceito
Electronic Component
Sinônimos
-
Definição
Designação sintática para cada parte que compõe um modelo específico de frota.
Valores
ID = 24
Conceito
Start Maintenance
Sinônimos
-
Definição
Data na qual o serviço de manutenção foi inicializado.
Valores
12/09/2021
ID = 25
Conceito

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

Finish Maintenance
Sinônimos
-
Definição
Data na qual o serviço de manutenção foi finalizado.
Valores
15/09/2021
ID = 26
Conceito
Responsible
Sinônimos
-
Definição
Especialista que depura problemas e executa soluções para os tipos de componentes com avarias.
Valores
Mauro, Filipe, Marcos
ID = 27
Conceito
Approver
Sinônimos
-
Definição
Especialista que após realizada a manutenção, aprova se o serviço foi executado e a conclusão estão corretos.
Valores
Mauro, Filipe, Marcos
ID = 28

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

Conceito
Fleet Number
Sinônimos
-
Definição
Número único identificador de equipamentos da frota da empresa.
Valores
CR3070
ID = 29
Conceito
Fleet
Sinônimos
-
Definição
Descrição de famílias de modelos de equipamentos que compõem a frota.
Valores

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

CAMINHÃO 740B CATERPILLAR, CAMINHÃO 777F CATERPILLAR, TRATOR D9T CATERPILLAR, CAMINHÃO 777 CAMINHÃO CATERPILLAR 777C, CAMINHÃO CATERPILLAR 777G, CAMINHÃO KOMATSU, CAMINHÃO KOMATSU 685, CAMINHÃO KOMATSU 685E, CAMINHÃO KOMATSU 730, CAMINHÃO KOMATSU 730E, CAMINHÃO KOMATSU 930, CAMINHÃO KOMATSU 930E, CAMINHÃO KOMATSU MOTOR MTU, CAMINHÃO KOMATSU SISTEMA IN-VERTEX, CAMINHÃO KOMATSU SISTEMA STATEX, ECM CUMMINS, ECM VOLVO, ESCAVADEIRA, ESCAVADEIRA 336D, ESCAVADEIRA 374DL, ESCAVADEIRA CATERPILLAR 365C, ESCAVADEIRA HITACHI, ESCAVADEIRA HITACHI EX-2500, ESCAVADEIRA HITACHI EX-1200-6, ESCAVADEIRA HITACHI EX-2500-5, ESCAVADEIRA HITACHI EX-2500-6, ESCAVADEIRA HITACHI EX-2600, ESCAVADEIRA HITACHI EX-5500, ESCAVADEIRA HITACHI EX-5500-5, ESCAVADEIRA HITACHI EX-5500-6, ESCAVADEIRA HITACHI EX-5600-6, MD07009, MD29028, MOTONIVELADORA, MOTONIVELADORA 14M CATERPILLAR, MOTONIVELADORA 16H CATERPILLAR, MOTOR C11 PERFURATRIZ, MOTOR C15, MOTOR C-15 980H, MOTOR CUMMINS, MOTOR CUMMINS QSK50, MOTOSCAPE CATERPILLAR ME 631, PÁ CARREGADEIRA 980H CATERPILLAR, PERFURATRIZ, PERFURATRIZ PANTERA, TRATOR DE ESTEIRA D11T.
ID = 30
Conceito
Problem
Sinônimos
-
Definição
Descrição da avaria apresentada, que levou o componente a manutenção corretiva.
Valores

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

ID = 31
Conceito
Diagnosis
Sinônimos
-
Definição
Descrição da natureza da avaria do problema.
Valores
Falha Eletrônica, Atualização de Software, Testes.
ID = 32
Conceito
Solution
Sinônimos
-
Definição
Descrição da solução encontrada para conserto do problema apresentado.
Valores
ID = 33
Conceito
Final State
Sinônimos
-
Definição
Conclusão, após reparo se o tipo de componente estará apto ou não a ser utilizado novamente.
Valores
Aprovado, Reprovado

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

ID = 34
Conceito
Packaging
Sinônimos
-
Definição
Descreve se o tipo de componente foi recebido embalado pelos especialistas.
Valores
Sim, Não
ID = 35
Conceito
Accessories
Sinônimos
-
Definição
Descreve se o tipo de componente foi recebido com acessórios pelos especialistas.
Valores
Sim, Não.
ID = 36
Conceito
Conditions
Sinônimos
-
Definição
Descreve qual é a condição do tipo de componente quando o mesmo foi recebido pelos especialistas.
Valores
Sujo, Qubrado, Faltando Componente.

Continua na próxima página

Continuação da Tabela de Conceitos e Valores

ID = 37
Conceito
Location
Sinônimos
-
Definição
Descreve a localidade de onde foi requisita a ordem de serviço, conseqüentemente, onde o tipod e componente se encontrava.
Valores
DWGE, UMAC, UMAX, UMCC, UMJU, UMMA, UMPB, UMRM, UMSL, UMSM, UMSS, UMST, UMSU, UMYA.

Fim da tabela

B Taxonomias OMMEL

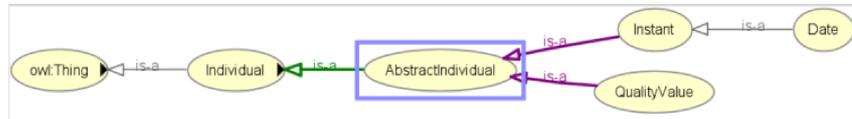


Figura B.1: Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das datas

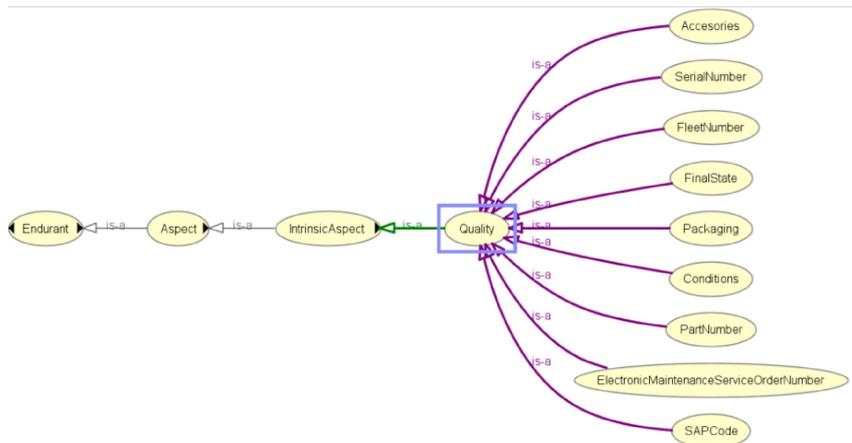


Figura B.2: Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das qualidades

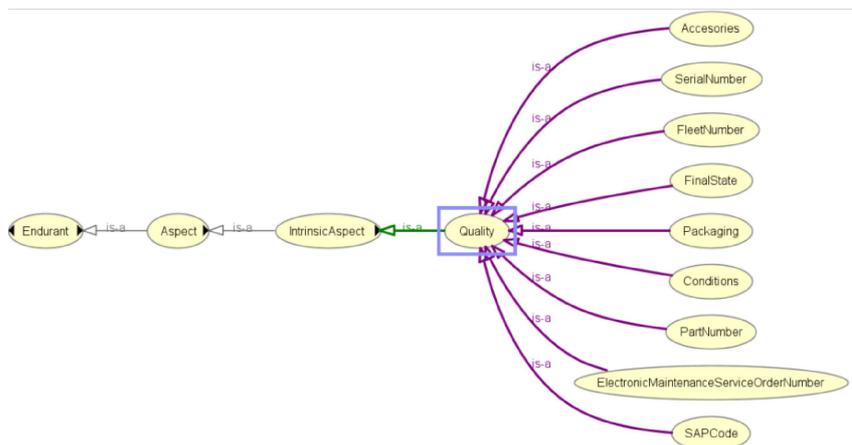


Figura B.3: Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das qualidades



Figura B.4: Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia dos eventos

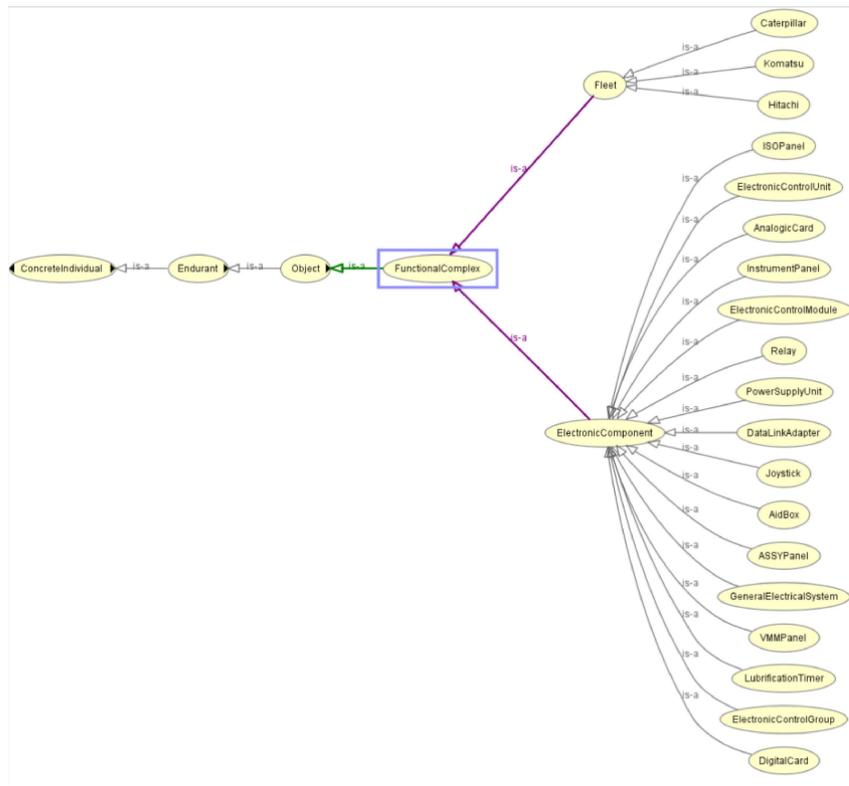


Figura B.5: Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia dos complexos funcionais

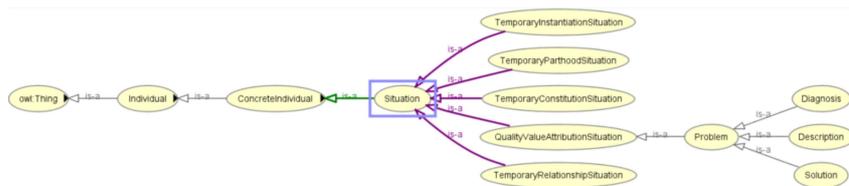


Figura B.6: Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das situações

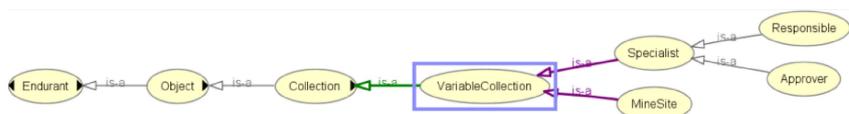


Figura B.7: Taxonomia da ontologia OMMEL - hierarquia das coleções variáveis

C Algoritmos FastMain

Algorithm 1 Busca por Número de Peça ou Número de Série

PartNumber ← *EntradaDoUsuário*

SerialNumber ← *EntradaDoUsuário*

ModoDeBusca ← *EntradaDoUsuário*

Respostas ← *SAPRQLQuery* ▷ Retorna resposta dependente do SerialNumber ou PartNumber

for *Itera sobre as respostas do*

 | *Componente* ← *Component*

 | *Descrição* ← *Description*

 | *Diagnóstico* ← *Diagnosis*

 | *Solução* ← *Solution*

 | *Data* ← *Date*

end for

Renderiza respostas para tela de usuário

Algorithm 2 Busca por descrição de problema

DescricaoDoProblema ← *EntradaDoUsuário*

Similaridade ← *EntradaDoUsuário*

Description ← *SPARQL Query* ▷ Para recuperação de todas as instâncias de descrições

if *DescricaoDoProblema* é semelhante a *Description* de acordo com critérios de *Similaridade* **then**

 | *ListaSerialNumber* ← *SerialNumber*

 | *ListaSimilaridade* ← *SimilaridadeCorrespondente*

end if

Dicionario ← *ListaSerialNumber, ListaSimilaridade*

Respostas ← *SAPRQL Query* ▷ Retorna resposta dependente do SerialNumber

for *Itera sobre as Respostas do*

 | *Similaridade* ← *ValorListaSimilaridade*

 | *Componente* ← *Component*

 | *Descrição* ← *Description*

 | *Solução* ← *Solution*

 | *Data* ← *Date*

end for

Renderiza respostas para tela de usuário

Algorithm 3 Wapper de Ontologia

```

Data ← DataAtual
OntologiaGerada ← NomePadrao + Data
Abre base de dados
QuantidadeLinhasAtual ← QuantidadeLinhas
Abre arquivo temporário de contagem de linhas
QuantidadeLinhasAntiga ← QuantidadeLinhas
if QuantidadeLinhasAntiga < QuantidadeLinhasAtual then
  Salva o nome do arquivo da OntologiaGerada
  Abre ontologia de base
  Lista colunas a serem extraídas da base de dados
  Define Namespace da ontologia
  IndexInicio ← QuantidadeLinhasAntiga
  for Itera sobre a base de dados iniciando depois da última linha conhecida do
    DadosSelecionados ← DadosDasColunasExtraídas
    for cada DadosSelecionados do
      | Cria instância relacionando NomeColuna e Valor
    end for
    if partNumber = serialNumber then
      | Declara partNumber e serialNumber como inconsistentes
    end if
    Relaciona URI das instâncias com o Namespace da ontologia OMMEL

    AdicionaTriplasComponente()
    AdicionaTriplasDescrição()
    AdicionaTriplasPartNumber()
    AdicionaTriplasSerialNumber()
    AdicionaTriplasProblema()
    AdicionaTriplasSolução()
    AdicionaTriplasDiagnostico()
    AdicionaTriplasCodigoSAP()
    AdicionaTriplasFinalManutenção()
    AdicionaTriplasDataFinal()
    AdicionaTriplasEstadoFinal()

    Salva instâncias em OntologiaGerada
  end for
end if

```
