

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SERVIÇO DE INTERPRETAÇÃO DE
CONTEXTO EM APOIO À PREPARAÇÃO E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS**

ALUNO: MARCIO ROBERTO DE CAMPOS
ORIENTADORA: REGINA BORGES DE ARAÚJO

SÃO CARLOS - SP
2009

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SERVIÇO DE INTERPRETAÇÃO DE
CONTEXTO EM APOIO À PREPARAÇÃO E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SERVIÇO DE INTERPRETAÇÃO DE
CONTEXTO EM APOIO À PREPARAÇÃO E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS**

Márcio Roberto de Campos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientadora: Regina Borges de Araújo

SÃO CARLOS – SP
2009

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C198pi

Campos, Márcio Roberto de.

Projeto e implementação de um serviço de interpretação de contexto em apoio à preparação e resposta a emergências / Márcio Roberto de Campos. -- São Carlos : UFSCar, 2011.

141 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2009.

1. Sistema difuso. 2. Interpretação de contexto. 3. Fuzzi logic. 4. Ontologia. 5. Gerenciamento da emergência. I. Título.

CDD: 003.7 (20^a)

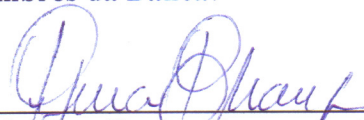
Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

“Projeto e Implementação de um Serviço de Interpretação de Contexto em Apoio a Preparação e Resposta a Emergências”

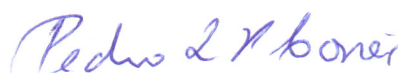
MÁRCIO ROBERTO DE CAMPOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação

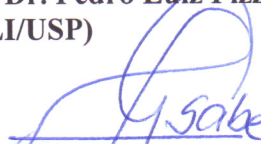
Membros da Banca:



Profa. Dra. Regina Borges de Araujo
(Orientadora - DC/UFSCar)



Prof. Dr. Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa
(POLI/USP)



Prof. Dr. José Guilherme Sabe
(EESC/USP)

São Carlos
Julho/2009

“Não se fará menção de coral nem de cristal; porque a aquisição da sabedoria é melhor que a das pérolas.”

Jó 28:18

DEDICO ESTE TRABALHO:

À minha querida mãe, Sebastiana Geralda de Léo Campos, pelo amor, incentivo e dedicação, sempre acreditando nos meus sonhos.

Ao meu pai, Daércio de Campos, certamente orgulhoso por mais um importante passo na minha vida.

À minha amiga, companheira de laboratório e namorada, Rafaela Vilela da Rocha, por toda ajuda, carinho e incentivo na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus caminhos e revigorar minha busca diária rumo aos meus objetivos e evolução espiritual.

Aos meus pais e familiares pelo apoio, e incentivo ao meu esforço e capacidade.

À prof^a. Dr^a. Regina Borges de Araújo, pela motivação, encorajamento, amizade e direção durante os meus estudos na pós-graduação. Seu incansável sacerdócio na arte do ensino nos torna pessoas melhores.

Ao Grupo de Estudos do Mestrado (GEM) por toda a ajuda nos estudos. Nunca esquecerei vocês: Li, Cris, Tati, Simoni, Débora, Léo, Vinicius, Reginaldo, Alexandre e Ricardo.

A todos os meus colegas do Laboratório de Realidade Virtual (LRVNet), principalmente Ricardo Ferrari, Leandro, Bruno, Fábio, Rodolfo, Igor, Zé Eduardo, Max, Ricardo Luis, Allan, Felipe e Marcelo pelas discussões que contribuíram para a realização de nossos trabalhos.

Aos meus amigos e amigas, em especial à Michele e Kamila que sempre estão ao meu lado dando apoio quando preciso.

Aos professores do Departamento de Computação da UFSCar, principalmente aos que tive a oportunidade de conhecer durante os estudos.

E principalmente à minha amiga, companheira de laboratório e namorada, Rafaela, por todo o auxílio, carinho e incentivo na elaboração dos artigos e dissertação. Que Deus a abençoe sempre.

RESUMO

Neste trabalho um serviço de interpretação de contexto foi projetado e implementado contendo uma base de conhecimento formada pela integração de ontologias e por um sistema de inferência fuzzy. A principal característica desse serviço é fornecer informações adicionais sobre o fenômeno sendo observado, como por exemplo, riscos vizinhos a um incêndio. A base de conhecimento foi gerada com a ajuda de especialistas no domínio de preparação e resposta a emergências. Para que o monitoramento em tempo-real seja eficaz é necessário que os dados capturados por sensores no ambiente físico sejam interpretados de forma correta e rápida. A interpretação de contextos pode ser simples para tratar ambigüidades e repetição de informação ou bastante complexa envolvendo a correlação de diferentes eventos e contextos. Redes de sensores sem fio estão sendo utilizadas cada vez mais como poderosas ferramentas de monitoramento em ambientes sujeitos a situações de risco à vida e ao patrimônio, tais como incêndios, vazamentos de gases tóxicos e explosões. Sistemas de gerenciamento da emergência que integram redes de sensores sem fio vêm sendo utilizados como apoio à tomada de decisão para equipes de resposta a emergências em que o tempo-resposta nessas condições torna-se fator preponderante visando o sucesso de operações práticas de salvamento. De modo a validar o serviço de interpretação proposto e implementado como ferramenta de auxílio em palcos emergenciais, foi implementada uma prova de conceito referente a uma planta industrial de uma empresa situada no município de São Carlos. A interpretação de contexto realizada com a integração de ontologias e técnicas fuzzy mostra ser uma solução potencial para a monitoração de ambientes físicos sujeitos a situações emergenciais.

Palavras-Chave: Interpretação de Contexto, Fuzzy, Ontologia, Gerenciamento da Emergência.

ABSTRACT

In this MSc project an interpretation service was designed and implemented containing a knowledge base built from the integration of ontologies and a fuzzy inference system. Besides interpreting what is occurring in the environment, the main feature of this service is to provide additional information on the phenomenon being observed, such as neighboring risks. The knowledge base was generated with the help of experts in the field of emergency preparedness and response. For the real-time monitoring to be effective it is necessary that the data captured by sensors from the physical environment be interpreted in a fast and accurate way. Context interpretation can be either simple when handling information ambiguities and replication or highly complex when different contexts and events correlation are involved. Wireless sensors networks are increasingly being used as powerful tools for the monitoring of environments subject to life and assets risk situations, such as fires, toxic gas leaks and explosions. Emergency management systems that incorporate wireless sensor networks are being used to support emergency first responders in the decision making process where response time is crucial for the success of rescue operations. To validate the proposed interpretation service, implemented as a tool to aid in emergency situations, a use case was built using a local company plant. The context interpretation service built from the integration of ontologies and fuzzy techniques has shown to be a potential aid tool for the monitoring of physical environments subject to emergency situations.

Keywords: Context Interpretation, Fuzzy, Ontology, Emergency Management.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. Incêndios no Estado de São Paulo (adotado de www.polmil.sp.gov.br/ccb , 2007)..... | 2 |
| FIGURA 2. Conhecimento compilado - Adaptado de Harmon (1988)..... | 15 |
| FIGURA 3. Tipos de ontologias segundo seu nível de dependência em relação a uma tarefa ou ponto de vista (Adaptado de Guarino (1998)). | 17 |
| FIGURA 4. Categorias de ontologias quanto a seu uso (Adaptado de Uschold e Gruninger (1996))..... | 19 |
| FIGURA 5. Tela principal do editor Protégé. | 24 |
| FIGURA 6. Sistema lógico <i>fuzzy</i> (adotado de (Cox, 1995)) | 26 |
| FIGURA 7. Inferência <i>Fuzzy</i> (adotada de Dario, 2004)..... | 27 |
| FIGURA 8. Modelo de aplicação ciente de contexto (adaptado de Ailisto et al. (2002))..... | 33 |
| FIGURA 9. Arquitetura CASS - adotada de (Fahy e Clarke, 2004)..... | 36 |
| Figura 10. Arquitetura COBRA (adaptada de Chen; Finin; Joshi (2003))..... | 37 |
| FIGURA 11. Fluxo de dados entre aplicações e infra-estrutura no contexto (adaptada de Dey; Abowd; Salber, 1999)). | 38 |
| FIGURA 12. Arquitetura CAMUS (adaptada de Truong; Lee; Lee (2005a))..... | 39 |
| Figura 13. Arquitetura GAIA – adotada de (Roman et al., 2002)..... | 40 |
| FIGURA 14. Arquitetura SOCAM – adotada de Gu; Pung; Zhang, 2004a. | 41 |
| FIGURA 15. Visão Geral dos principais serviços do MidSensorNet..... | 43 |
| FIGURA 16. Arquitetura geral do MidSensorNet com ênfase no serviço de interpretação de contexto. | 47 |
| FIGURA 17. Visão Geral do Serviço de Interpretação de Contexto. | 48 |
| FIGURA 18. Gráfico da evolução do Incêndio..... | 50 |
| FIGURA 19. Gráfico da evolução do incêndio com explosão por <i>Boil Over</i> | 52 |
| FIGURA 20. Fluxograma do algoritmo para consulta das fases do incêndio | 53 |
| FIGURA 21. Fluxograma do algoritmo de consulta para riscos vizinhos..... | 54 |
| FIGURA 22. Fluxograma do algoritmo de consulta para <i>boil over</i> | 54 |
| FIGURA 23. Ontologias para simulação de situações de emergência..... | 55 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 24. Visão geral da ontologia infra-estrutura. | 56 |
| FIGURA 25. Descrição do conceito <i>Sala</i> utilizando o editor Protégé | 57 |
| FIGURA 26. Consulta de risco vizinho no Protégé..... | 58 |
| FIGURA 27. Visão geral das medidas de segurança contra incêndio que fazem parte da ontologia infra-estrutura..... | 59 |
| FIGURA 28. Visão geral da ontologia pessoa..... | 60 |
| FIGURA 29. Visão geral da ontologia objeto..... | 61 |
| FIGURA 30. Visão geral da ontologia emergência..... | 62 |
| FIGURA 31. Visão geral da ontologia tática..... | 65 |
| FIGURA 32. Gráfico das fases do incêndio..... | 66 |
| FIGURA 33. Regras para a fase do incêndio..... | 67 |
| FIGURA 34. Função de pertinência do oxigênio em um incêndio..... | 67 |
| FIGURA 35. Função de pertinência da temperatura em um incêndio..... | 68 |
| FIGURA 36. Função de pertinência de fumaça presente no teto em um lugar com incêndio..... | 68 |
| FIGURA 37. Função de pertinência das fases do incêndio..... | 69 |
| FIGURA 38. Gráfico da explosão por <i>boil over</i> | 69 |
| FIGURA 39. Regras para o <i>boil over</i> | 70 |
| FIGURA 40. Função de pertinência da temperatura no tanque. | 70 |
| FIGURA 41. Função de pertinência da presença de água em um tanque..... | 71 |
| FIGURA 42. Função de pertinência de <i>boil over</i> | 71 |
| FIGURA 43. Diagrama de seqüência do risco vizinho. | 73 |
| FIGURA 44. Diagrama de seqüência dos dados para o tanque..... | 73 |
| FIGURA 45. Diagrama de seqüência das fases do incêndio. | 74 |
| FIGURA 46. Planta industrial de produção de batatas fritas..... | 75 |
| FIGURA 47 – Interface gráfica simples para verificação de riscos vizinhos..... | 78 |
| FIGURA 48 – Interface gráfica simples para verificar se há <i>boil over</i> | 78 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1. Comparação entre métodos de análise de riscos (adotado de Brown, 1998)..... | 10 |
| TABELA 2. Camadas de semântica e de inferência de arquiteturas existentes..... | 45 |
| TABELA 3. Alguns conceitos e propriedades da ontologia infra-estrutura. | 59 |
| TABELA 4. Alguns conceitos e propriedades da ontologia pessoa..... | 61 |
| TABELA 5. Alguns conceitos e propriedades da ocorrência de incêndio da ontologia emergência..... | 63 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| 5W | Who, What, Where, When and Why |
| API | Application Programming Interface |
| AV3D | Ambiente Virtual Tridimensional |
| BNJ | Bayesian network software toolkit |
| CAMUS | Context Aware Middleware for Ubiquitous Services |
| CASS | Context-Awareness Sub-Structure |
| COBRA | Context Broker Architecture |
| DAML | Darpa Agent Markup Language |
| DL | Description Logic |
| DVE | Digital Vídeo Editor |
| FEMA | Federal Emergency Management Agency |
| FMEA | Fail Mode & Effect Analysis |
| F-OWL | Flora- Ontology Web Language |
| HAZOP | Hazard and Operability Study |
| IA | Inteligência Artificial |
| Jena | Semantic Web Framework |
| KB | knowledge base |
| OIL | Ontology Inference Layer |
| OWL | Ontology Web Language |
| PHA | Preliminary Hazard Analysis |
| RDF | Resource Description Framework |
| RDQL | RDF Data Query Language |
| RFID | Radio-Frequency Identification |
| RSSF | Redes de Sensores Sem Fio |
| SCO | Sistema de Consulta à Ontologia |
| SE | Sistemas Especialistas |
| SIC | Sistema de Interpretação de Contexto |
| SICER | Salvamento, Isolamento, Combate, Extinção e Rescaldo |
| SIF | Sistema de Inferência Fuzzy |
| SOCAM | Service-Oriented Context-Aware Middleware |
| SPARQL | Protocol And RDF Query Language |
| SQL | Structured Query Language |
| TDS | Teoria de Dempster-Shaft |
| UD | Universo de Discurso |
| UDDI | Universal Description Discovery and Integration |
| W3C | World Wide Web Consortium |
| WSDL | Web Services Description Language |
| XML | eXtensible Markup Language |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Motivação | 1 |
| 1.2 Objetivos..... | 2 |
| 1.3 Organização do Trabalho | 2 |
| 2 ANÁLISE DE RISCO | 4 |
| 2.1 Análise Histórica de Acidentes..... | 4 |
| 2.2 Análise Crítica de Acidentes | 5 |
| 2.3 Técnicas de Identificação de Perigos | 5 |
| 2.3.1 Preliminary Hazard Analysis | 6 |
| 2.3.2 What-if | 7 |
| 2.3.3 Hazard and Operability Study..... | 7 |
| 2.3.4 Fail Mode & Effect Analysis | 8 |
| 2.3.5 Índices Dow e Mond | 9 |
| 2.4 Resultados - Comparação entre os métodos de análise de risco..... | 10 |
| 2.5 Documentação utilizada nos métodos de análise de riscos..... | 11 |
| 2.5.1 Federal Emergency Management Agency (FEMA) | 11 |
| 3 ENGENHARIA DE CONHECIMENTO (Ontologias, Lógica Fuzzy, Inferências Bayesianas, Dempster Shaft) | 12 |
| 3.1 Metodologia para aferir a qualidade do sistema especialista:..... | 13 |
| 3.2 Metodologia para compilação do conhecimento | 14 |
| 3.3 Metodologia de sistemas baseados em conhecimento..... | 15 |
| 3.4 Características da Ontologia..... | 16 |
| 3.4.1 Metodologia para classificação das Ontologias | 17 |
| 3.4.2 Metodologia para descrição das Ontologias..... | 19 |
| 3.4.3 Metodologia para elaborar roteiro geral para construção de Ontologia | 20 |
| 3.4.4 Linguagem de Ontologia para Web | 21 |
| 3.4.5 Metodologia para escolha de ferramentas de manipulação das ontologias | 22 |
| 3.4.5.1 Jena | 22 |
| 3.4.5.2 Protégé | 23 |
| 3.5 Lógica <i>Fuzzy</i> | 24 |
| 3.5.1 Variáveis Lingüísticas – base para raciocínio aproximado | 25 |
| 3.5.2 Estrutura de um sistema de inferência fuzzy | 26 |
| 3.6 Inferências bayesianas | 27 |
| 3.7 Dempster Shaft..... | 28 |
| 3.8 Método para implementação de sistemas especialistas | 29 |
| 4 INTERPRETAÇÃO DE CONTEXTO | 31 |
| 4.1 Caracterização de contexto | 31 |
| 4.1.1 Quem (identificação)..... | 31 |
| 4.1.2 Onde (localização)..... | 32 |
| 4.1.3 Quando (tempo)..... | 32 |
| 4.1.4 O quê (atividade) | 32 |
| 4.1.5 Por quê (intenção) | 33 |
| 4.2 Modelo para aplicativos cientes de contexto | 33 |
| 4.3 Modelos de contexto | 34 |
| 4.4 Sistemas de interpretação de contexto..... | 35 |
| 4.4.1 Subestrutura de ciência de contexto - Context-Awareness Sub-Structure ... | 36 |

| | | |
|---|---|------------|
| 4.4.2 | Context Broker Architecture (COBRA)..... | 36 |
| 4.4.3 | Context Toolkit..... | 37 |
| 4.4.4 | Context Aware Middleware for Ubiquitous Services (CAMUS)..... | 38 |
| 4.4.5 | Gaia..... | 40 |
| 4.4.6 | SOCAM..... | 41 |
| 4.4.7 | MIDSENSORNET..... | 42 |
| 4.4.8 | Comparação entre as arquiteturas..... | 45 |
| 5 PROJETO DE UM SERVIÇO DE INTERPRETAÇÃO DE CONTEXTO EM APOIO À PREPARAÇÃO E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS..... | | 46 |
| 5.1 | <i>Middleware</i> de serviço para gerenciamento de emergência..... | 46 |
| 5.2 | Serviço de Interpretação de Contexto do MIDSENSORNet..... | 47 |
| 5.3 | Representação de Conhecimento sobre Incêndio e Explosão..... | 48 |
| 5.3.1 | Incêndio..... | 49 |
| 5.3.2 | Explosão..... | 51 |
| 5.4 | Integração entre Ontologias e Lógica <i>Fuzzy</i> | 52 |
| 5.5 | Descrição das Ontologias de Emergência..... | 54 |
| 5.5.1 | Ontologia Infra-Estrutura..... | 55 |
| 5.5.2 | Ontologia Pessoa..... | 60 |
| 5.5.3 | Ontologia Objeto..... | 61 |
| 5.5.4 | Ontologia Emergência..... | 62 |
| 5.5.5 | Ontologia Tática..... | 64 |
| 5.6 | Descrição das Regras <i>Fuzzy</i> no contexto de emergência..... | 65 |
| 5.7 | Aquisição de dados..... | 72 |
| 5.8 | Validação do serviço de interpretação de contexto – Prova de conceito: Indústria de Batata Frita..... | 74 |
| 6 CONCLUSÕES..... | | 79 |
| 6.1 | Contribuições geradas..... | 79 |
| 6.2 | Artigos publicados..... | 80 |
| 6.3 | Trabalhos futuros..... | 80 |
| 6.4 | Conclusões finais..... | 80 |
| 7 REFERÊNCIAS..... | | 82 |
| APÊNDICE A - Solução Baseada em Ontologias para Monitoramento e Simulação de Situações de Emergência..... | | 89 |
| APÊNDICE B - Creating Emergency Management Training Simulations through Ontologies Integration..... | | 96 |
| APÊNDICE C - Um Serviço de Interpretação de Contexto para Redes de Sensores Sem Fio no Domínio do Gerenciamento da Emergência..... | | 102 |
| APÊNDICE D – Ontologia Infra-Estrutura..... | | 109 |
| APÊNDICE E – Ontologia Pessoa..... | | 128 |
| APÊNDICE F – Ontologia Objeto..... | | 132 |
| APÊNDICE G – Ontologia Emergência..... | | 134 |
| APÊNDICE H – Ontologia Tática..... | | 141 |

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento preciso de ambientes reais sujeitos a situações de emergência é importante para que as equipes de resgate saibam o que está ocorrendo em situações de risco, e possam tomar as melhores medidas em atividades de salvamento e resgate.

Redes de sensores sem fio estão sendo utilizadas cada vez mais como poderosas ferramentas de monitoramento em ambientes sujeitos a situações críticas de risco à vida e ao patrimônio, tais como incêndios, vazamentos de gases tóxicos e explosões. Sistemas de gerenciamento da emergência que integram redes de sensores sem fio vêm sendo utilizados como apoio à tomada de decisão visando o sucesso de operações práticas de salvamento. Para isso, é necessário que os dados capturados por sensores no ambiente físico sejam interpretados. A interpretação de contextos pode ser simples para tratar ambigüidades e repetição de informação ou bastante complexa envolvendo a correlação de diferentes eventos e contextos.

Neste trabalho foi desenvolvida uma base de conhecimento com a ajuda de especialistas no domínio de preparação e resposta a emergências para a realização da interpretação de contexto. Essa base de conhecimento é formada pela integração de ontologias e por um sistema de inferência fuzzy. Para verificar a consistência do trabalho como ferramenta de auxílio em palcos emergenciais, foi implementada uma prova de conceito utilizando uma planta industrial.

1.1 Motivação

A principal motivação para este trabalho está refletida na Figura 1 que mostra o gráfico da quantidade de incêndios no Estado de São Paulo (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2006). Os investimentos em equipamentos, treinamento e viaturas são importantes, mas o aumento de incêndios

independe desses fatores ao se considerar que acidentes sempre estiveram presentes no cotidiano. Como os incêndios podem comprometer vidas e patrimônio, ferramentas inovadoras de software e hardware que possam contribuir para reduzir os riscos e/ou perdas são de primordial importância.

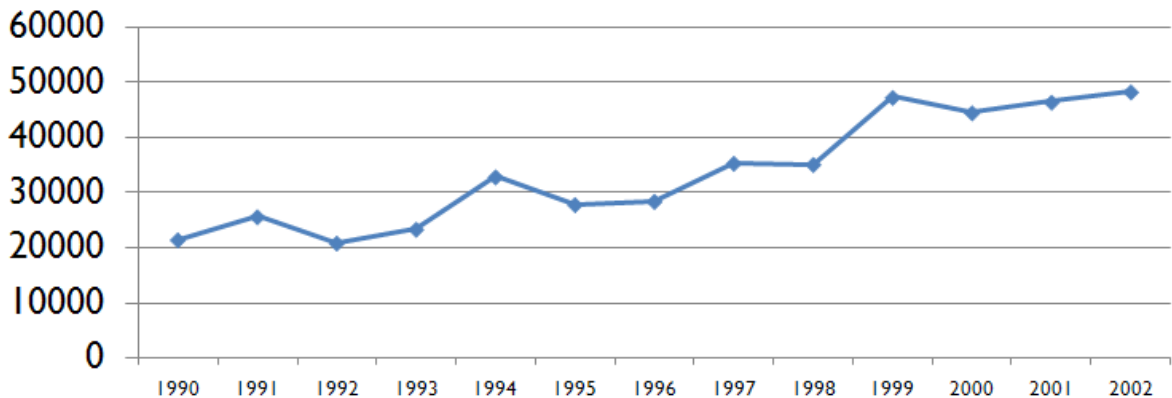


FIGURA 1. Incêndios no Estado de São Paulo (adotado de www.polmil.sp.gov.br/ccb, 2007).

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor um serviço de interpretação de contexto que integra ontologias e um sistema de inferência *fuzzy* constituindo-se numa base de conhecimento. O objetivo específico é fornecer informações adicionais sobre o fenômeno sendo observado, como por exemplo, riscos vizinhos. A base de conhecimento foi gerada com a ajuda de especialistas no domínio de preparação e resposta a emergências. De modo a validar o serviço de interpretação uma prova de conceito foi projetada e implementada utilizando uma planta industrial real do município de São Carlos.

1.3 Organização do Trabalho

Este documento está organizado da seguinte maneira: No Capítulo 01 é abordada a introdução. No capítulo 2 são apresentados conceitos sobre os principais métodos utilizados em gerenciamento da emergência. No capítulo 3 é

abordado o conceito sobre a Engenharia do Conhecimento onde são analisadas Ontologias, Lógica Fuzzy, Inferências Bayesianas e Dempster Shaft. Desta revisão, há destaque para a Lógica Fuzzy e Ontologias. No capítulo 4 é descrito o conceito de interpretação de contexto sobre fusão de dados, bem como trabalhos correlatos. No capítulo 5 é apresentada a Proposta do Trabalho e também uma prova de conceito. As conclusões são apresentadas no capítulo 6, seguido das referências.

2 ANÁLISE DE RISCO

Emergência é uma situação crítica e fortuita que representa perigo à vida, ao meio ambiente e ao patrimônio, decorrente de atividade humana ou fenômeno da natureza que obriga a uma rápida intervenção operacional. (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2005).

Alguns fatores históricos contribuíram para o aumento dos acidentes. A era industrial desenvolvida no período pós-guerra teve franca ascensão a exemplo de setores químicos ou petroquímicos, e com eles também o potencial de risco decorrente de produtos e sofisticação de processos operacionais empregados. Para minimizar os riscos em plantas industriais, foram desenvolvidas técnicas para análise de riscos.

A metodologia de análise de risco tem como objetivo prevenir e proteger perdas materiais e humanas que possam surgir em áreas industriais, o que fortalece a segurança deixando-a em níveis aceitáveis (Brown, 1998). Para identificar os perigos, são descritas três seções: análise histórica de acidentes, análise crítica de acidentes e técnicas de identificação de perigos.

O capítulo 2 é organizado da seguinte forma: a Seção 2.1 descreve a análise histórica de acidentes seguida da Seção 2.2 que aborda a análise crítica de acidentes. Na Seção 2.3 são descritas técnicas de identificação de perigos. A Seção 2.4 aborda a comparação entre os métodos de análise de risco, seguida da Seção 2.5 que trata da documentação utilizada nos métodos de análise de riscos. As considerações finais são apresentadas na Seção 2.6.

2.1 Análise Histórica de Acidentes

A análise histórica de acidentes é uma avaliação dos acidentes ocorridos em instalações industriais análogos ao objeto de estudo, buscando causas e subsídios para elaborar uma avaliação quantitativa de causas e conseqüências

para a planta industrial. Essas informações são obtidas em bancos de dados nacionais, internacionais, bem como por meio de relatórios técnicos ou literatura especializada (Brown, 1998).

A análise histórica de acidentes tem como objetivo identificar eventos relacionados à manipulação de produtos na instalação que possam resultar em explosões, incêndios, poluição ambiental e acidentes pessoais graves.

2.2 Análise Crítica de Acidentes

A análise crítica de acidentes compreende uma análise crítica da instalação industrial pelo conhecimento dos processos e suas interligações, históricos de produtos, balanços e procedimentos operacionais. Algumas informações acrescentam qualidade à análise a exemplo de normas de projeto, especificações de equipamentos, dispositivos e fontes de segurança, princípios de ignição e sistemas de tratamento de efluentes. Essas informações possibilitam que profissionais de segurança mapeiem hipóteses de acidentes com potencial probabilístico que pode ser catalogados e pesquisados em bancos de dados voltados a esta área (Brown, 1998).

As informações contidas nos relatórios decorrentes da análise crítica apresentam critério de seleção de cenários de riscos referentes aos acidentes industriais, e pode viabilizar modelagens e simulações para a elaboração de análise de conseqüências. Para as conseqüências, devem ser considerados os seguintes aspectos: propriedades físico-químicas e de segurança referente aos produtos envolvidos no processo, massa dos produtos, tempo de duração dos eventos indesejáveis (explosão, incêndios e emissão tóxica), disponibilidade dos sistemas de proteção e combate a incêndio, características dos locais atingidos e características da população (funcionários, clientes e população circunvizinha).

2.3 Técnicas de Identificação de Perigos

As principais técnicas para identificação de riscos são *Preliminary Hazard Analysis* (PHA), “*What-if*”, *Hazard and Operability Study* (HAZOP) e *Fail Mode & Effect Analysis* (FMEA). A forma de trabalhar com essas técnicas ocorrem em sistemática técnico-administrativa com utilização de dinâmica de grupos, onde é eleito um líder com conhecimento de técnicas e processos, de forma a detectar os perigos de uma instalação foco de estudo. Por serem bem estruturadas e sistemáticas, essas técnicas podem se tornar altamente exaustivas no mapeamento dos riscos, onde é possível ressaltar que todas possuem planilhas para registros de detalhes e conclusões.

2.3.1 Preliminary Hazard Analysis

A técnica *Preliminary Hazard Analysis* (PHA) permite identificação e análise de forma abrangente os prováveis riscos existentes numa edificação. Por meio de um padrão tabular para cada risco detectado são relacionadas causas, efeitos e medidas de contingência para cada item, tanto em aspectos preventivos quanto corretivos (Brown, 1998).

Os perigos identificados pela técnica PHA são avaliados por frequência de ocorrência, gravidade e impacto de conseqüências ao considerar danos a pessoas, materiais (equipamentos e edificações) e comunidade em geral. Nessa técnica há categorias de riscos que tiveram adaptação da Norma Militar Norte Americana (MIL-STD-882, 2000), onde há tabelas e matrizes de riscos utilizados na categorização dos riscos.

Os resultados de PHA são apresentados em planilhas de análise elaboradas de acordo com as seguintes definições (Brown, 1998): **perigo**: condição com potencial para causar danos; **causas possíveis**: procedimentos e condições que dão origem aos riscos; **categorias de frequência**: referência para estabelecer o nível de probabilidade de ocorrência da causa identificada e analisada; **conseqüências**: degradação de origem humana ou animal; **categorias de conseqüências**: classificação do risco em quatro categorias de conseqüências (dispensável, normal, crítica e catastrófica); **medidas preventivo-corretivas existentes**: medidas gerais ou específicas, preventivas ou corretivas e já

implementadas na instalação em estudo; **medidas preventivo-corretivas a implantar**: recomendações de melhorias operacionais ou de segurança a serem implementadas; e **avaliação preliminar de risco**: critério utilizado na avaliação do potencial do risco encontrado com aplicação de matriz de riscos.

2.3.2 *What-if*

A técnica *What-if* é um procedimento de revisão de riscos de processos por meio de reuniões de questionamento sobre procedimentos ou instalações de um processo, além das soluções para cada problema apresentado (Brown, 1998). O principal objetivo é identificar riscos que passaram despercebidos em alguma fase do processo de investigação. Com a análise contextual, há trocas de experiências entre os participantes, o que estimula a reflexão e associação de idéias.

A limitação da técnica *What-if* deve-se ao fato de que algumas vezes as idéias indicam inviabilidade de realização por motivos operacionais ou econômicos, porém a implementação é sempre decidida em grupo. A equipe deve ser multidisciplinar composta por técnicos experientes e um líder sintonizado com a técnica. A equipe deve ter no máximo seis pessoas, com reuniões em dias alternados cuja duração não supere 4 horas. As questões são registradas e numeradas em planilha de trabalho, bem como riscos, causas, conseqüências, ações existentes e recomendações de segurança. O estudo deve ocorrer em todo o ciclo do processo industrial com avaliação dos riscos e aplicação da técnica. A implementação é priorizada conforme a categoria de risco.

2.3.3 *Hazard and Operability Study*

Os principais objetivos da técnica *Hazard and Operability Study* (HAZOP) são identificar possíveis desvios operacionais num processo industrial e identificar perigos e riscos associados a estes desvios operacionais (Lawley, 1974). A HAZOP é uma poderosa ferramenta de análise de decisão de processo por

minimizar ou até eliminar problemas operacionais que resultem num possível acidente industrial de graves proporções.

A técnica denominada HAZOP favorece a oportunidade de aflorar importantes discussões em grupos de trabalho com o objetivo em analisar as possíveis formas de ocorrências de incidentes operacionais (Brown, 1998).

No HAZOP são analisadas as conseqüências da combinação de palavras-guias com as variáveis do processo, o que resulta num desvio onde são feitas recomendações de segurança. É possível citar algumas palavras-chave utilizadas, como exemplo: ausência, mais, menos, variáveis de temperatura, pressão e vazão, desvios, maior pressão, menor temperatura.

O HAZOP é formado pelas seguintes etapas: definição dos objetivos de estudo, seleção da equipe de trabalho, preparação para o estudo, reuniões técnicas, supervisão de pendências e registro em planilhas. Na seqüência, ocorre a elaboração e implementação das recomendações de segurança sugeridas pelo HAZOP.

As etapas do HAZOP são constituídas dos seguintes tópicos: definição de objetivos, equipe técnica, preparação, realização, acompanhamento das pendências, registro em planilhas e resultados. A definição de objetivos compreende seleção de unidades de processo a serem estudadas e definição de processos para estudos. A equipe técnica é formada por técnicos que conheçam ou operem a unidade em estudo onde é necessária uma pessoa para liderar a técnica. Em preparação há coleta de informações para a elaboração do HAZOP, inclusive documentos, manuais, desenhos, fluxogramas de processos e engenharia. Na etapa realização há elaboração de um fluxograma com marcação de processos para execução dos estudos.

2.3.4 *Fail Mode & Effect Analysis*

A técnica *Fail Mode & Effect Analysis* (FMEA) foca a análise dos tipos de falha, ou seja, como os componentes de um equipamento ou sistema podem falhar, como estimar taxas de falhas, determinar efeitos decorrentes e estabelecer mudanças para aumentar a probabilidade do funcionamento correto e seguro. A

FMEA tem como principais objetivos: revisão sistemática dos tipos de falha de componentes visando minimizar danos ao sistema; determinar os efeitos dessas falhas em outros componentes do sistema; determinar a probabilidade de falha com efeito na operação do sistema; e apresentar medidas que promovam redução de probabilidades de falhas a exemplo do uso de componentes mais confiáveis ou operações de redundâncias.

Geralmente o FMEA é utilizado de forma qualitativa. A quantificação da FMEA é utilizada para estabelecer o nível de confiabilidade de um sistema ou subsistema e pode colaborar para a análise de falhas humanas que neste método são complementadas pela análise de erros humanos ou ergonomia.

Para utilizar corretamente o FMEA, há necessidade do conhecimento dos detalhes e missões do sistema, incluindo restrições, falhas e procedimentos adequados de uso. Um sistema pode ser subdividido em subsistemas visando maior controle. Após isso são traçados diagramas de blocos funcionais dos sistemas e subsistemas para estimar o inter-relacionamento, são elaboradas listas referentes às funções. Finalmente, pela análise do projeto e diagrama, são resultados os modos de falhas com respectiva taxa de gravidade e propostas de medidas de segurança.

As taxas de falhas podem ser classificadas em provável, razoavelmente provável, remota e extremamente remota. A estimativa das taxas de falhas é fornecida por bancos de dados confiáveis, fornecidos por fabricantes de componentes ou comparação com sistemas semelhantes. Frequentemente há vários tipos de falhas para um único componente. Cabe ao grupo responsável estimar quais são as falhas de relevância e proceder a análise personalizada.

2.3.5 Índices Dow e Mond

O objetivo dos índices *Dow* e *Mond* é avaliar o potencial de incêndio, explosão e toxicidade em instalações industriais (*Dow*, 1987). O índice *Dow* foi considerado uma técnica de referência para avaliação de riscos industriais de instalações existentes, além de recomendado pelo “*American Institute of Chemical Engineering – AIChE*” (CCPS-AIChE, 1992) sob a forma de um manual técnico. Por

ser um método direcionado a estimar potencial de fogo em instalações industriais, o índice *Dow* é muito utilizado por companhias especializadas em seguro industrial.

Os principais avanços do índice *Mond* foram: facilitar o estudo de várias instalações de estocagem e processamento, abordar o processo de produtos explosivos, estimar a toxicidade de produtos químicos, além de aplicar fatores fixos de penalidades para aspectos deficientes em segurança, bem como fatores fixos de bonificação para aspectos considerados seguros no empreendimento.

Ambos os métodos possuem formato de *check list*, cuja somatória dos fatores fixos resulta num valor que é catalogado numa tabela de riscos e por esta tabela pode-se estabelecer conclusões sobre níveis de distanciamento de equipamentos ou unidades industriais. Vale ressaltar que o índice *Mond* é muito útil na implementação de layouts referente às instalações industriais.

2.4 Resultados - Comparação entre os métodos de análise de risco

A TABELA 1 mostra uma comparação entre os métodos mais tradicionais e utilizados em análise de riscos.

TABELA 1. Comparação entre métodos de análise de riscos (adotado de Brown, 1998).

| TÉCNICAS | VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|------------------|---|---|
| PHA | Análise prévia; classificação do risco. | muito preliminar. |
| HAZOP | fácil aplicação; muito aceito e padronizado; sem modelo matemático | consumo de tempo; equipe multidisciplinar treinada; conhecimento do processo. |
| <i>What - if</i> | fácil aplicação e geral; qualitativa, uso em projeto ou operações. | Vários <i>check lists</i> ; consumo de tempo. |
| FMEA | fácil aplicação; modelo padronizado; classificação de risco; analisa subsistemas. | examina falhas não perigosas; demorada; não considera falhas de modo comum ou combinação de falhas. |
| <i>Dow</i> | avaliação por pontos; folha padronizada; muito usada por seguradoras. | conservadora; |
| <i>Mond</i> | avaliação por fatores de penalidades e de créditos; sistema de bônus; flexível; folha padronizada; muito útil em implantações físicas industriais. | consumo de tempo; conhecimento de detalhes do processo. |

2.5 Documentação utilizada nos métodos de análise de riscos

Para elaboração da análise de riscos com as técnicas utilizadas anteriormente, é recomendável a consulta de documentos técnicos como descrições e fluxogramas de processos ou engenharia, dados de produtos químicos utilizados, especificações técnicas, implantações físicas de instalações e manuais, além de procedimentos operacionais e de manutenção. Esses documentos devem conter a versão atualizada da instalação em estudo, e são considerados fotografias das empresas em análise (Brown, 1998).

2.5.1 *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*

Hoje em dia além dos métodos citados anteriormente, há sistemas de gerenciamento de emergência geralmente ligados ao governo. Um desastre pode impactar diversos locais independente de hora e local. Um desastre tem origens diversas a exemplo de furacões, terremotos, inundações, incêndios, derramamento de produtos perigosos, atos da natureza ou até mesmo um ato terrorista. Quando um desastre ocorre, é improvável que o Estado disponha de recursos suficientes para fornecer uma resposta adequada. A tarefa de preparar e responder rapidamente às catástrofes dos EUA recai sobre a *Federal Emergency Management Agency* (FEMA, 2009).

O FEMA faz parte do Departamento de Segurança aos desabrigados e trabalha com 10 centros regionais da coordenação nacional de auxílio aos desastres com apoio do Estado e gerenciamento do local de emergência. Proporciona um sistema completo de gerenciamento de socorro às catástrofes com os esforços do Estado e agências locais de gestão de emergências, e fornece um sistema completo de gerenciamento de socorro para:

- Planejar, coordenar e desenvolver os meios para responder aos incidentes terroristas e desastres naturais.

- Reduzir ou eliminar os riscos para as pessoas e propriedades usualmente adotando portarias de zoneamento, além de elaboração de leis e adoção de medidas atinentes.
- Fornecer resposta imediata às pessoas, empresas e comunidades impactadas por atos de terrorismo, emergências e catástrofes nacionais.

No Brasil o setor cujo trabalho é semelhante ao FEMA é a defesa civil.

Os principais métodos de análise de risco usados atualmente na indústria foram descritos neste capítulo. O estudo foi importante para a compreensão das características positivas e negativas de cada método objetivando melhorar a base de conhecimentos criada neste trabalho de mestrado. O método *PHA* foi um importante alicerce por focar a análise preliminar. O método *What If* introduz reuniões com técnicos experientes como parte do mecanismo de análise de risco. O método *HAZOP* define o conceito de recomendações de segurança que, na base de conhecimentos desenvolvida neste trabalho de mestrado, ficou análogo às respostas frente a um determinado risco. O método *FEMEA* adota critérios estatísticos e poderá ser utilizado em trabalhos futuros ao considerar, por exemplo, a utilização de redes bayesianas. Situação semelhante é encontrada nos métodos *Dow* e *Mond*, pois a tabulação por *check list* aliado a técnicas de penalidade e bonificação podem colaborar futuramente em ambientes de simulação.

3 ENGENHARIA DE CONHECIMENTO (Ontologias, Lógica Fuzzy, Inferências Bayesianas, Dempster Shaft)

A mente humana tem a capacidade de tomar decisões que não representam uma verdade absoluta, ao tratar as incertezas existentes no mundo. Dessa forma, este tipo de raciocínio pode levar a conclusões dúbias ou que tenham alternativas bem variadas (Tibiriça; Nassar, 2003).

A Inteligência Artificial (IA) é um campo de estudo que busca desenvolver sistemas inteligentes. Um sistema inteligente pode ser considerado

como capaz de resolver problemas que ao serem resolvidos por humanos, exigem comportamento dito inteligente (Har, 1988). Para resolver este tipo de problema, pesquisadores de IA desenvolveram sistemas que possibilitam a utilização de conhecimento sobre uma área específica, que foram chamados de Sistemas Especialistas (SE). Estes sistemas ocupam uma área de IA destinada ao desenvolvimento de programas que utilizam conhecimento simbólico para expressar o comportamento de especialistas humanos (Harmon; King, 1988).

A Engenharia de Conhecimento caracteriza-se principalmente por ser a área responsável pela aquisição do conhecimento explícito do especialista (coleta, seleção, decomposição, composição e modelagem), bem como sua integração com o conhecimento implícito, existente em bases de dados relacionadas ao escopo deste especialista (Gruber, 1993).

O professor Edward Feigenbaum define que os profissionais que constroem sistemas especialistas baseados em conhecimento são chamados de engenheiros do conhecimento e a tecnologia criada por eles é definida como engenharia do conhecimento (Har, 1988).

O especialista pode ser definido como um indivíduo notadamente reconhecido como habilitado em resolver um tipo particular de problema, que a maioria das pessoas, nem de perto, resolveria de forma tão eficiente ou eficazmente (Harmon; King, 1988).

3.1 Metodologia para aferir a qualidade do sistema especialista:

Para que os sistemas especialistas (SEs) sejam implementados de forma correta, os engenheiros do conhecimento devem atentar para alguns desafios que podem comprometer a qualidade dos sistemas. São eles (Durkin, 1994):

- **Fragilidade:** ocorre quando devido aos conhecimentos altamente específico dos SEs, estes podem não conter conhecimentos mais genéricos quando surge uma necessidade;
- **Falta de metaconhecimento:** SEs que não têm conhecimento muito sofisticado ou apresentam dificuldades em raciocinar sobre seu próprio escopo e restrições;

- **Aquisição de Conhecimento:** apesar do constante investimento em desenvolvimento de ferramentas para a aquisição de conhecimento, esta tarefa representa o maior desafio devido à transferência do conhecimento de um especialista humano para o computador, uma tarefa nem sempre fácil.
- **Validação:** a validação ou medição do conhecimento de um SE fica difícil pelo desafio em quantificar o uso do conhecimento;
- **Distribuição de Usuários:** na maioria dos SEs o usuário está próximo ao sistema, o que em alguns casos pode prejudicar a mobilidade, além do fato de que em alguns casos sua atualização não é dinâmica;
- **Interfaces Complicadas:** interfaces dirigidas ao problema (geralmente sem padrão) implicam em dificuldades em operar o sistema, tornando-o complicado ao usuário.

3.2 Metodologia para compilação do conhecimento

Na Figura 2 é descrito um conjunto de setas, onde a seta horizontal representa uma dimensão que indica o conhecimento compilado adquirido por uma pessoa.

Variedades de Conhecimento

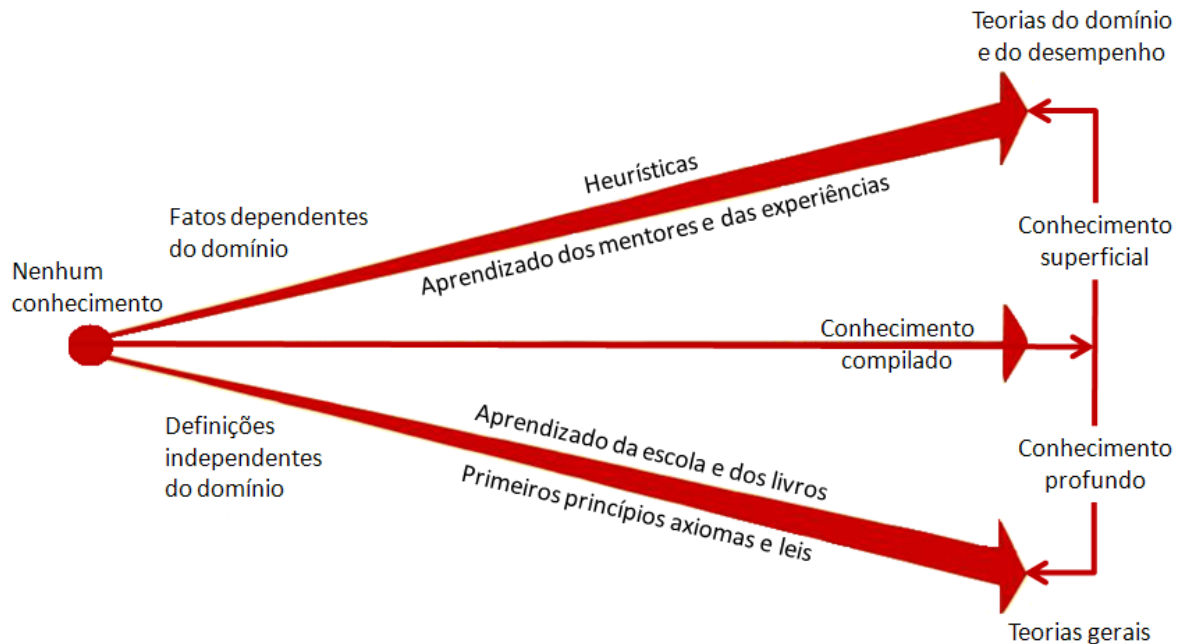


FIGURA 2. Conhecimento compilado - Adaptado de Harmon (1988)

Conhecimento compilado é a informação que foi organizada, indexada e armazenada de forma que permita acesso fácil. O conhecimento compilado é utilizável de pronto para a resolução de problemas, ou seja, compilar é o processo de agrupar em partes significativas do conhecimento são armazenadas e recuperadas como unidades funcionais (Harmon; King, 1988).

3.3 Metodologia de sistemas baseados em conhecimento

Ao comparar o início do uso de computadores digitais para fins comerciais com a época atual, observa-se um acúmulo de informações em bases de dados, o que acarreta a criação de novos conceitos que despontam no horizonte humano-tecnológico (Filatro, 2004). Muitos desses tópicos foram alavancados pelo uso massificado da Internet; outros são vislumbrados pela manipulação de conhecimento humano por meio do computador com utilização de técnicas que representam comportamentos mais próximos aos de seres humanos (Gruber, 1993).

As bases de dados relacionadas à inteligência artificial são vistas como fontes de conhecimentos a serem descobertos (conhecimento implícito ou embutido nos dados) ou utilizadas para refinar o conhecimento (explícito) de especialistas em

diversas áreas. Há sistemas utilizados para elaboração das bases de dados como Sistemas Baseados em Conhecimento, Sistemas de Mineração de Dados e os Sistemas de Apoio à Decisão, entre outros. Esses sistemas possibilitam processos de extração, captura e manipulação de conhecimentos por inúmeras técnicas a exemplo de Sistemas de Inferência *Fuzzy*, Sistemas *Neuro-Fuzzy*, Árvores de Decisão, Redes Neurais Artificiais, Sistemas Especialistas e Sistemas Evolucionários (Gruber, 1993).

Técnicas de inteligência computacional, a exemplo de sistemas especialistas, podem auxiliar a tomada decisória implementada por este tipo de sistema. Dentre os vários tipos de abordagens, é possível citar como exemplo técnicas que tratam a incerteza por aleatoriedade (probabilidade) a exemplo das redes bayesianas e o tratamento por imprecisão (possibilidade), a exemplo dos sistemas especialistas *Fuzzy*. Alguns domínios podem até necessitar de uma abordagem híbrida para que a solução seja encontrada (Tibiriça; Nassar, 2003).

Swartout et. al. (1997) define uma ontologia como um conjunto de termos ordenados hierarquicamente para descrever um domínio que pode ser usado como um esqueleto para uma base de conhecimento.

As ontologias serão abordadas na próxima Seção.

3.4 Características da Ontologia

Segundo Uschold e Gruninger (1996) as ontologias contribuem para a redução de confusão conceitual e terminológica, proporcionando um entendimento compartilhado. Este entendimento serve de base para:

- **Comunicação:** entre pessoas com diferentes necessidades e pontos de vista, devido aos diferentes contextos em que se encontram;
- **Interoperabilidade:** entre sistemas, obtida pela tradução de informações entre diferentes métodos de modelagem, paradigmas, linguagens e ferramentas de software;
- **Reusabilidade:** da representação do conhecimento compartilhado, com benefícios para a engenharia de sistemas, em particular;

- **Confiabilidade:** gerada pela possibilidade de automatizar a checagem de consistência de uma representação formal;
- **Especificação:** o conhecimento compartilhado pode ajudar na identificação de requisitos e na definição da especificação de um sistema.

Enquanto a ontologia descreve um determinado domínio por meio de um conjunto de conceitos, a base de conhecimento usará estes termos para descrever uma determinada realidade (Guimarães, 2002). Caso essa realidade seja modificada a base de conhecimento também será, porém a ontologia não. A ontologia só será modificada se alterarem o domínio.

Usualmente a ontologia deve ser formal o suficiente para suportar inferência automática e idealmente requer o consenso entre uma comunidade (Vieira et al., 2005).

3.4.1 Metodologia para classificação das Ontologias

Guarino (1998) classifica as ontologias em quatro categorias com base em seu conteúdo e nível de generalidade, conforme mostrado na Figura 3.

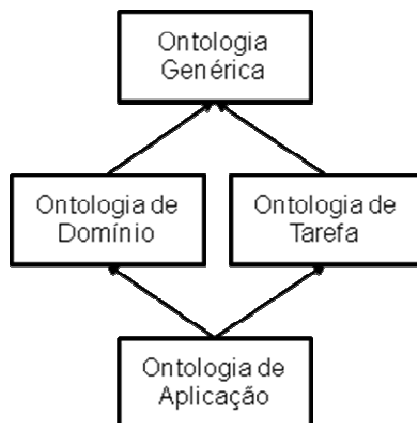


FIGURA 3. Tipos de ontologias segundo seu nível de dependência em relação a uma tarefa ou ponto de vista (Adaptado de Guarino (1998)).

As ontologias genéricas descrevem os conceitos gerais (tais como espaço, tempo, matéria, objeto etc.), que são independentes de um domínio ou

problema específico. As ontologias de domínio descrevem os conceitos referentes a um domínio genérico (tais como, medicina ou automóveis), para especializar os termos introduzidos na ontologia genérica. As ontologias de tarefas descrevem os conceitos referentes a uma tarefa ou atividade genérica (tais como diagnóstico ou venda), para especializar os termos introduzidos na ontologia genérica. Ontologias de aplicação descrevem os conceitos dependentes de um domínio e de uma tarefa específica, que são freqüentemente especializações das ontologias relacionadas.

Guarino e Welty (1998) classificam as ontologias em quatro níveis segundo sua profundidade ontológica:

- **vocabulário:** em sua forma mais simples, uma ontologia é apenas um vocabulário;
- **taxonomia:** o significado dos termos é estabelecido pela definição de relacionamentos entre objetos e classes, subclasses e classes-pai. Esse tipo de ontologia normalmente é estabelecido por sistemas orientados a objetos. Muitas ontologias existentes são definidas usando apenas esses relacionamentos hierárquicos;
- **sistema relacional:** as ontologias também podem incluir relacionamentos não hierárquicos como nos diagramas de relacionamento de entidades e nos bancos de dados relacionais e, por conseguinte, cada esquema de banco de dados relacional define sua própria ontologia;
- **teoria axiomática:** além de escrever relacionamentos, as ontologias também podem impor restrições. As restrições são definidas como axiomas. Um axioma é uma afirmação lógica que não pode ser provada a partir de outras afirmações, mas das quais outras afirmações podem ser derivadas.

Uschold e Gruninger (1996) classificam as ontologias em três principais categorias segundo a sua utilização, conforme mostrado na Figura 4.

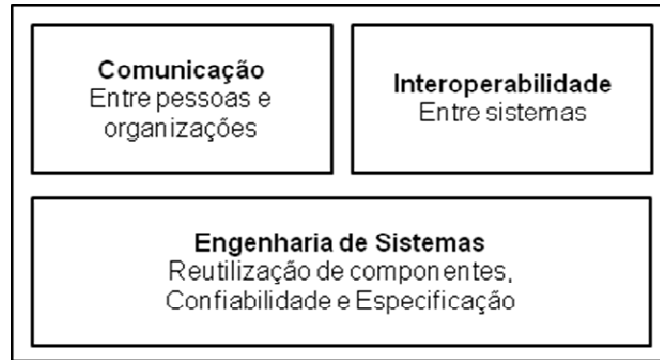


FIGURA 4. Categorias de ontologias quanto a seu uso (Adaptado de Uschold e Gruninger (1996)).

Segundo (Uschold e Gruninger, 1996) as ontologias são utilizadas para comunicação entre pessoas e a organização reduzindo confusões terminológicas e conceituais dentro da organização. Ontologias permitem o entendimento compartilhado e a comunicação entre as pessoas com diferentes necessidades. As ontologias permitem a interoperabilidade entre sistemas, pois pode ser usada como uma interlíngua para apoiar a tradução entre diferentes linguagens e representações. E na engenharia de sistemas as ontologias podem ser benéficas na especificação, confiabilidade e reutilização, pois facilitam o processo de identificação dos requisitos e o entendimento das relações entre os componentes do sistema.

3.4.2 Metodologia para descrição das Ontologias

Segundo (Gómes; Pérez, 1999) as ontologias fornecem um vocabulário comum de um domínio e definem os significados dos termos e as relações entre eles. Uma ontologia formaliza o conhecimento pela utilização de cinco componentes (Gómes; Perez, 1999), (Noy; Mcguinness, 2004):

- **Conceitos:** e uma hierarquia entre esses conceitos, ou seja, uma taxonomia. Os conceitos podem ser abstratos ou concretos, elementares ou compostos, reais ou fictícios (ex: *pessoa*, *carro*);
- **Relacionamentos:** que são as integrações entre os conceitos do domínio. Nessas relações ocorrem as definições de cardinalidade (ex: *ser_dono* entre os conceitos *pessoa* e *carro*);
- **Propriedades:** das classes e valores permitidos (ex: nome com valor do tipo caractere);

- **Axiomas:** são usados para modelar sentenças que são sempre verdadeiras (ex: toda *pessoa* tem uma mãe) e;
- **Instâncias:** que representam os elementos de uma ontologia, ou seja, são as representações dos conceitos e relações que foram estabelecidos pela ontologia (ex: *João, Maria*).

A próxima seção descreve como construir uma ontologia.

3.4.3 Metodologia para elaborar roteiro geral para construção de Ontologia

Uschold and Gruninger (1996) apresentam um roteiro geral para a construção de ontologias em quatro fases:

1. **Identificação de propósito e escopo:** neste ponto deve-se deixar claro o motivo pelo qual a ontologia está sendo desenvolvida e o uso ao qual se destina;
2. **Construção da ontologia:** este processo consiste de três fases: **captura:** definição de conceitos chave e relacionamentos no domínio de interesse, bem como a produção de representações textuais precisas e não ambíguas para esses conceitos e relacionamentos, com a identificação de termos que se referem aos mesmos; **codificação:** representação explícita da conceitualização obtida na fase anterior, utilizando alguma linguagem formal; e **integração de ontologias existentes:** durante a fase de captura ou codificação, identificar ontologias relacionadas que já existam, utilizando-as como complemento da ontologia em desenvolvimento ou para servir como base para a criação da nova ontologia;
3. **Avaliação:** julgamento técnico da ontologia desenvolvida (levando em consideração, entre outros aspectos, o ambiente de software a que será associada);
4. **Documentação:** os conceitos principais e as primitivas utilizadas para expressar definições devem estar bem documentados. O uso de ferramentas facilita o desenvolvimento de ontologias, em especial a sua documentação.

São várias as linguagens existentes para criação de ontologias, mas na próxima seção será descrita com mais detalhes a linguagem OWL por ser padronizada pela *World Wide Web Consortium* (W3C) e por oferecer recursos compreensíveis às máquinas computacionais.

3.4.4 Linguagem de Ontologia para Web

A linguagem de ontologia para web *Ontology Web Language* (OWL) é a linguagem para construção de ontologias recomendada pelo W3C (Smith; Welty; Mcguinness, 2004) (Bechhofer, 2004). A linguagem OWL permite formalizar um domínio definindo classes e propriedades. A OWL possui uma sintaxe que é baseada na linguagem de marcação extensível - *eXtensible Markup Language* (XML) e é uma linguagem compatível com o *framework* para descrição de recursos *Resource Description Framework* (RDF) (Smith; Welty; Mcguinness, 2004). XML é uma linguagem de marcação utilizada para descrever estruturalmente o conteúdo dos documentos de maneira que seja de fácil processamento pelas entidades de software e entendimento pelos humanos. RDF é um modelo de dados para objetos (recursos) e relações entre eles, fornecendo uma semântica simples para este modelo de dados que podem ser representados na sintaxe XML.

A OWL é projetada para ser utilizada por aplicações que necessitam realizar o processamento do significado das informações antes de apresentá-las aos usuários. Para isto, ela apresenta um vasto vocabulário que permite a descrição de classes e propriedades, relacionamentos entre as classes, cardinalidade, igualdade, tipos e características de propriedades, entre outras funcionalidades (Smith; Welty; Mcguinness, 2004).

Os recursos que a linguagem OWL oferece são divididos em três sub-linguagens (Smith; Welty; Mcguinness, 2004): *OWL Lite*, *OWL Description Logic* (DL) e *OWL Full*.

A *OWL Lite* deve ser utilizada para implementar uma classificação hierárquica simples (ex: uma taxonomia) e que necessite apenas de ser apoiada em restrições simples (ex: associações de cardinalidade de valor 0 ou 1);

A OWL *Description Logic* (DL) é uma linguagem um pouco mais complexa que a OWL *Lite*. Deverá ser utilizada quando se pretende associar o máximo de expressividade sem perda da integridade computacional, todos os vínculos são garantidos serem computados, e todas as computações terminarão em tempo finito. A linguagem OWL-DL implementa todos os construtores da linguagem OWL, apesar de alguns deles apenas poderem ser utilizados de acordo com certas restrições (por exemplo, uma classe pode ser uma subclasse de várias classes, mas não pode ser considerada uma instância de outra classe). OWL-DL foi projetada para suportar a existência de parte dos serviços da Lógica de Descrição e tem propriedades computacionais desejáveis para sistemas de inferência.

A OWL *Full* é utilizada quando se pretende associar o máximo de expressividade da informação independentemente da existência ou não de garantias computacionais. Por exemplo, na linguagem OWL *Full*, uma classe pode ser simultaneamente referida como uma coleção de instâncias ou apenas como uma instância específica. Além disso, permite que os vocabulários predefinidos possam ser estendidos, o que poderá levantar problemas de compatibilidade entre diferentes interpretações por parte de diferentes programas de computador.

3.4.5 Metodologia para escolha de ferramentas de manipulação das ontologias

Nesta seção, descrevemos Jena e Protégé que são as duas ferramentas mais utilizadas, juntamente com a OWL (linguagem de ontologia para *Web*), (Cardoso, 2007).

3.4.5.1 Jena

O Jena (*Semantic Web Framework*) é um *framework* Java *open-source* para construção de aplicações voltadas a web semântica, que foi desenvolvido pelo *Hewlett-Packard Labs Semantic Web Research* (Jena, 2008). Ele fornece um ambiente de programação para diversas linguagens (incluindo RDF, OWL, e

SPARQL), inclui motor de inferência, e possibilita ainda a persistência em banco de dados. A SPARQL (*Protocol And RDF Query Language*) é uma linguagem de consultas e protocolo para RDF recomendada pelo W3C (Prud'hommeaux; Seaborne, 2008).

3.4.5.2 Protégé

Protégé é uma plataforma livre e *open-source*, que foi desenvolvida pelo *Stanford Center for Biomedical Informatics Research*. O Editor Protégé implementa um conjunto rico de estruturas e ações que suporta a criação, visualização e manipulação de ontologias em vários formatos de representação. Também é possível editar instâncias e efetuar inferências baseadas nos motores de lógica de descrição (Protégé, 2008).

Na Figura 5 é apresentada a tela principal da ferramenta Protégé versão 3.2.1, na qual estão sinalizadas algumas áreas da interface, explicadas a seguir.

Na Figura 5 a área 1 contém as guias que permitem a alternância na edição dos metadados, classes, propriedades, instâncias e formulários (Vieira et al., 2005). Os formulários são configurações para a exibição das propriedades da classe que se quer editar, permitindo personalização da interface. Na área 2 são exibidos os ícones para ações relacionadas às classes e para a visualização da árvore de classes da ontologia que está sendo criada. A classe básica *owl: Thing*, da qual todas são especializações, está presente desde a criação da nova ontologia. A área 3 é para o preenchimento do nome e outras informações relevantes de cada classe. Se a guia estiver em “propriedades” essa região acomoda os formulários para preenchimento dos metadados das propriedades. Na área 4 são exibidas as descrições lógicas das classes. Na área 5 são exibidas as classes disjuntas.

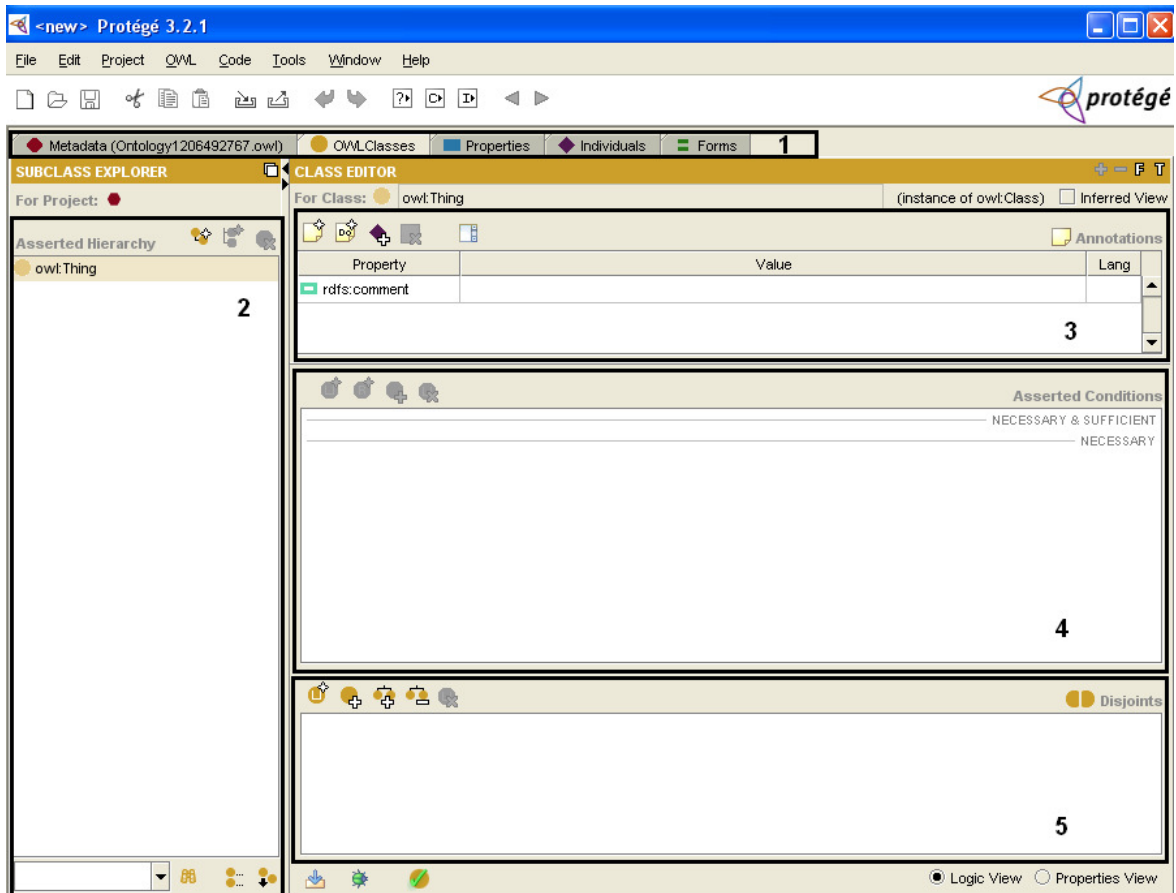


FIGURA 5. Tela principal do editor Protégé.

3.5 Lógica Fuzzy

Zadeh (1965) criou a teoria dos conjuntos *fuzzy* objetivando apresentar ferramental matemático em informações ditas vagas ou imprecisas. Dessa forma criou novos parâmetros conceituais relacionados à teoria dos conjuntos matemáticos. Inicialmente construída a partir de conceitos da lógica clássica, foram posteriormente criados operadores semelhantes aos tradicionais, que durante o tempo foram ampliados por necessidades práticas. Uma proposição lógica possui dois extremos a exemplo de totalmente verdadeiro ou totalmente falso. Para esse caso em lógica *fuzzy*, uma premissa varia em grau de verdade de 0 e 1, o que dá como resultado parcialmente verdadeiro ou parcialmente falso.

A relevância do tema deve-se a uma nova forma de interpretação dos dados com o grau de participação em um conjunto, fator inexistente na lógica convencional booleana. Dessa forma a informação do intelecto pode ser transformada em conceitos lógicos e manipuláveis por variáveis lingüísticas.

As premissas que diferenciam a lógica *fuzzy* da lógica booleana já existiam antes de Aristóteles (Cox, 1995). No século XIV Willian Ockham abordou também alguns conceitos. No século XX, Max Black e depois Jan Lukasiewicz estudaram a chamada na época lógica nebulosa, hoje chamada de lógica *fuzzy*.

Devido à adaptação e facilidade na integração com o raciocínio humano, a lógica *fuzzy* evoluiu para uma infinidade de aplicações em diversos campos como avaliação de créditos, fluxo de caixa, estoques e fornecedores, marketing, **análise de riscos**, controle de qualidade e inventários (Von Altrock, 1996). Cronologicamente mais recentes, ocorreram aplicações voltadas ao controle automático de máquinas e equipamentos a exemplo de tráfego automotivo, otimização de processos produtivos e sistemas de acionamento robotizado (Yen; Langari; Zadeh, 1994).

A lógica *fuzzy* foi citada como um ramo da matemática, tendo como alicerce a representação da lógica e da racionalidade humana na resolução de problemas complexos (Von Altrock, 1996). Nesse contexto a lógica *fuzzy* possibilita unir a imprecisão associada aos eventos naturais com o poder computacional de máquinas gerando sistemas de resposta inteligente, robustos e flexíveis (Cox, 1995).

A lógica *fuzzy* possibilita o desenvolvimento de sistemas representativos das decisões humanas onde a lógica ou matemática convencional (booleana) indicam insuficiência ou ineficiência. Dessa forma, a lógica *fuzzy* tem como uns dos principais objetivos a maneira pela qual os humanos relacionam dados para elaborar uma resposta aproximada e satisfatória a determinado problema (Von Altrock, 1996).

3.5.1 Variáveis Lingüísticas – base para raciocínio aproximado

A idéia relacionada à incerteza estocástica de uma variável corresponde exatamente ao grau de probabilidade referente à informação nela

contida seja verdadeira ou não. É dessa forma que modelos probabilísticos relacionam suas variáveis para viabilizar resultados (Kaufmann; Gupta, 1988).

O significado de alguns fatos empíricos ou o conhecimento de algum domínio podem não ocorrer de forma probabilística ou determinística, o que acarreta um raciocínio aproximado (Kaufmann; Gupta, 1988). As variáveis lingüísticas constituem o “vocabulário” da lógica *fuzzy* e absorvem a incerteza do pensamento ou expressão oral de humanos (Von Altrock, 1996).

3.5.2 Estrutura de um sistema de inferência fuzzy

O sistema *fuzzy* está baseado em três operações: fuzificação, inferência e defuzificação, conforme é mostrado na Figura 6 (Cox, 1995).

Na fuzificação, os dados de entrada são transformados em suas respectivas variáveis lingüísticas. Nestas variáveis são associadas informações relativas à imprecisão ou incerteza. É importante que especialistas da área em estudo sejam consultados durante a atribuição de valores relacionados aos graus de pertinência para cada uma das variáveis estudadas visando precisão nos resultados (Pinho, 1999).

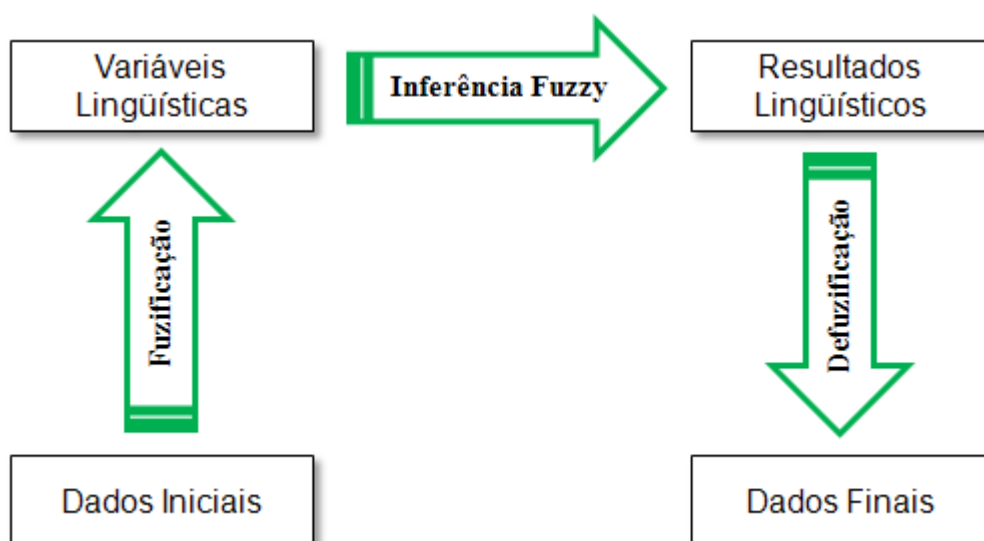


FIGURA 6. Sistema lógico *fuzzy* (adotado de (Cox, 1995))

Após transformação dos dados iniciais em variáveis lingüísticas, ocorre a fase chamada de inferência *fuzzy* cujo objetivo é relacionar as possíveis variáveis entre si com regras pré-estabelecidas conforme algoritmo (Jané, 2004). A agregação está associada à parcela **Se** das regras responsáveis pelo processo de inferência e a composição é ligada à parcela **Então**. Disso resulta o conjunto **Se-Então**, responsável pelo controle das relações entre as variáveis lingüísticas. Isto ocorre pelos seus respectivos operadores lógicos. Esta fase pode ser dividida em dois componentes: agregação e composição, conforme é mostrado na Figura 7.

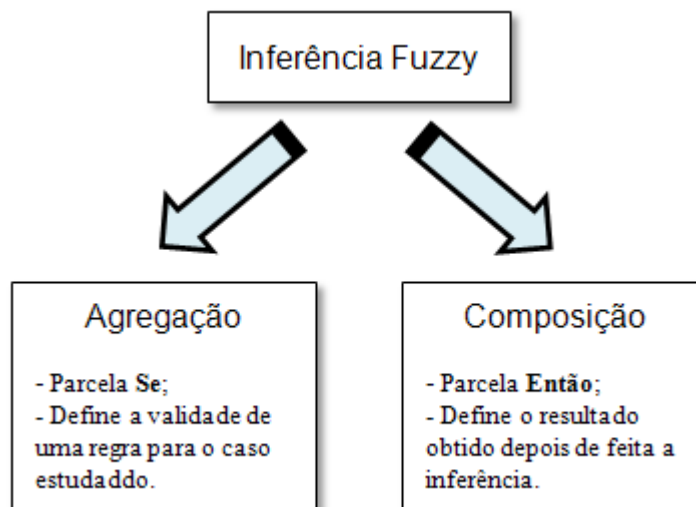


FIGURA 7. Inferência *Fuzzy* (adotada de Dario, 2004).

A última etapa do sistema lógico *fuzzy* é denominada defuzificação, que traduz em valores numéricos o resultado lingüístico do processo de inferência *fuzzy* (Von Altrock, 1996).

3.6 Inferências bayesianas

Uma rede bayesiana é uma forma de descrição concisa de distribuições de probabilidade conjunta, definida por um grafo dirigido acíclico onde cada nó representa uma variável aleatória associada. Cada uma dessas variáveis possui uma matriz de probabilidades condicionadas, especificando a sua probabilidade, dado a combinação de cada uma das probabilidades das variáveis pais. Variáveis pais são aquelas que a variável aleatória depende diretamente.

Essas variáveis podem representar eventos, estados, objetos, proposições ou outras entidades. O relacionamento entre elas é modelado como arestas dirigidas. Uma interpretação possível destas dependências é que representam influências causais cuja força é expressa por probabilidades condicionais (Faria et al., 2007).

Há uma parte estrutural que reflete relações causais entre as entradas e saídas do sistema e valores de probabilidade que refletem a força de relação. Geralmente a rede bayesiana é obtida por um especialista que transfere os conhecimentos de domínio da aplicação para o profissional do sistema computacional (Cooper, 1990).

Do ponto de vista matemático, uma rede bayesiana é uma representação compacta de uma tabela de conjunção de probabilidades do universo do problema (Cooper, 1990).

Redes bayesianas são classificadas como boa opção no tratamento de problemas envolvendo incertezas, onde as conclusões não podem ser elaboradas apenas com o prévio conhecimento sobre o problema. Dessa forma, enquadra-se em esquemas de representação de conhecimento para desenvolver a base de conhecimento de um sistema especialista probabilístico.

3.7 Dempster Shaft

Sistemas baseados em conhecimento devem representar e manipular (Bonissone, 1991). A Teoria de Dempster-Shafer (TDS) focaliza essas questões e foi originada com o trabalho de Dempster (1967a, 1967b) sobre a probabilidade inferior e superior tendo continuidade com os trabalhos de Shafer (1976), que refinou e estendeu as idéias de Dempster.

Ao verificar várias evidências independentes (dados observados) e feitas algumas inferências gerais a respeito do que cada evidência sugere, a TDS permite uma combinação dessas evidências de forma consistente e probabilística, para se estabelecer o que implica o conjunto de evidências considerado como um todo (Stein, 1993).

É possível modelar o afunilamento do conjunto de hipóteses à medida que se acumulam evidências. Dessa forma, é refletido o processo que caracteriza o

raciocínio usado em diagnóstico e o raciocínio especializado geral (Gordon; Shortliffe, 1984).

A TDS tem condições de refletir mais precisamente o processo de acúmulo de evidências visto que atribui valores de crença a subconjuntos e a cada elemento do conjunto de hipóteses. Independente da ordem em que as evidências surgem, a TDS permite que funções de crença possam ser combinadas, produzindo novas funções de crença num procedimento que independe da ordem na qual as evidências surgem, mas que, entretanto, exige que as hipóteses primitivas sendo consideradas sejam mutuamente exclusivas e exaustivas. A partir destas hipóteses primitivas (também denominadas singletons, ou unidades, por serem conjuntos unitários), é possível construir hipóteses mais elaboradas que não são mutuamente exclusivas ou exaustivas. Dessa forma vários conjuntos alternativos de hipóteses podem ser derivados a partir de uma única coleção de evidências, usando a TDS. Associado a cada conjunto há um intervalo de confiança chamado de intervalo de crença. A TDS permite que, quando da determinação da validade de uma determinada hipótese, possam ser consideradas todas as informações disponíveis (Stein, 1993).

Um exemplo de uso de TDS no gerenciamento de emergência seria a busca de vítimas de afogamentos em rios. Se houver dificuldade para encontrar os corpos, as equipes de salvamento podem pesquisar em dados estatísticos casos semelhantes anteriormente ocorridos e, por analogia das soluções encontradas, resolverem os problemas em buscas que estão sem solução ou ainda vão ocorrer (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2006).

3.8 Método para implementação de sistemas especialistas

Há vários tipos de metodologia para implementar os sistemas especialistas (Tibiriça; Nassar, 2003). Para o trabalho em pauta foi utilizada a seguinte metodologia:

- 1. Análise do domínio da aplicação pelo engenheiro do conhecimento e especialista**, visando identificar as características das variáveis envolvidas na aplicação. Esta análise permite decidir

pela necessidade de um método híbrido ou método único e específico que satisfaça as necessidades;

2. **Modelagem** da parte qualitativa, quantitativa ou de ambos.
3. **Definição de variáveis de entrada** separando-as por imprecisão (necessidade de fuzzificação), ou que dependam de probabilidade (aleatoriedade). Nessa etapa outras características podem ser verificadas, o que pode acarretar decisões por outros tipos de abordagem;
4. **Desenvolvimento da aplicação** baseado na aquisição de conhecimento que envolve a identificação do conhecimento técnico relevante. Na dissertação, foi feita a caracterização dos conjuntos *fuzzy*, pela escolha dos tipos de funções de pertinência que melhor representem o domínio da aplicação, delimitação do universo de discurso (UD) de cada variável e identificação dos limites de cada conjunto *fuzzy*;
5. **Implementação** do sistema especialista;
6. **Realização de experimentos** para testes de funcionalidades;
7. **Análise dos resultados**. É necessário verificar com os especialistas se os dados de entrada geram respostas condizentes com o *expertise* desses profissionais.

4 INTERPRETAÇÃO DE CONTEXTO

Há muitas definições para contexto na literatura. Uma das mais aceitas é que contexto pode ser definido como qualquer informação que pode ser usada para representar o estado de uma entidade onde entidade pode ser uma pessoa, lugar ou objeto (Dey; Abowd, 2000). Essa entidade pode ser qualquer coisa que seja relevante para a aplicação.

O Capítulo é organizado da seguinte forma: a Seção 4.1 descreve caracterização de contexto. Os modelos para aplicativos cientes de contexto são apresentados na Seção 4.2. Na Seção 4.3 são apresentados modelos de contexto. Na Seção 4.4 são apresentados sistemas de **interpretação de contexto**. As considerações finais são descritas na Seção 4.5.

4.1 Caracterização de contexto

O contexto pode ser caracterizado por *5W: Who, Where, When, What, e Why* (Quem, Onde, Quando, o quê e por quê), conforme são descritos a seguir, (Truong; Abowd; Brotherton, 2001).

4.1.1 *Quem (identificação)*

Seres humanos realizam suas atividades e recordam de fatos passados com base na presença das pessoas que os vivenciaram. Sendo assim, o sistema deve prover informações de contexto de todas as pessoas envolvidas em uma determinada atividade.

4.1.2 Onde (localização)

Assim como as informações de identificação, informações de contexto de localização têm sido muito utilizadas em sistemas cientes de contexto. As pesquisas mostram um interesse particular na utilização dessa informação contextual associada a outras dimensões, por exemplo, a dimensão temporal para explorar a mobilidade de usuários ao longo do tempo.

4.1.3 Quando (tempo)

Informações temporais têm sido usadas para indexar registros capturados ou para informar por quanto tempo um usuário esteve em uma determinada localização. Porém, o conhecimento dessas informações permite fazer inferências ajudando a interpretar as atividades humanas e estabelecer padrões de comportamento. Por exemplo, se um membro de uma equipe de resgate permanece durante muito tempo em uma mesma posição, de forma incomum de acordo com os procedimentos formais, há fortes indícios de ele tenha sofrido uma queda e precise de ajuda.

4.1.4 O quê (atividade)

O objetivo é obter informação, normalmente via sensores, que possibilite interpretar o que está ocorrendo em um determinado local. Em sistemas onde vários eventos podem ser desenvolvidos, identificar o que está ocorrendo em um determinado momento pode ser uma tarefa complexa (por exemplo, o que está acontecendo na asa do avião? A pressão está acima do normal e foi detectada uma pequena rachadura).

4.1.5 Por quê (intenção)

Tão difícil quanto perceber o que está ocorrendo em um determinado local sendo monitorado, é entender o porquê está ocorrendo (por exemplo, a asa do avião rachou por falta de lubrificação? Ou devido à falta de lubrificação ocorreu uma rachadura?). Interpretar informações de contexto que possam caracterizar o estado de um local, objeto ou pessoa é um dos desafios da computação ciente de contexto.

A interpretação do estado de um lugar, pessoa ou objeto é um dos maiores desafios da computação ciente de contexto e exige conhecimentos sobre as entidades e sua relação com o meio ambiente.

4.2 Modelo para aplicativos cientes de contexto

Ailisto et al. (2002) propõe um modelo de cinco camadas de modelagem para aplicativos cientes de contexto: físico, dados, semântico, inferência e aplicação, conforme é mostrado na Figura 8.

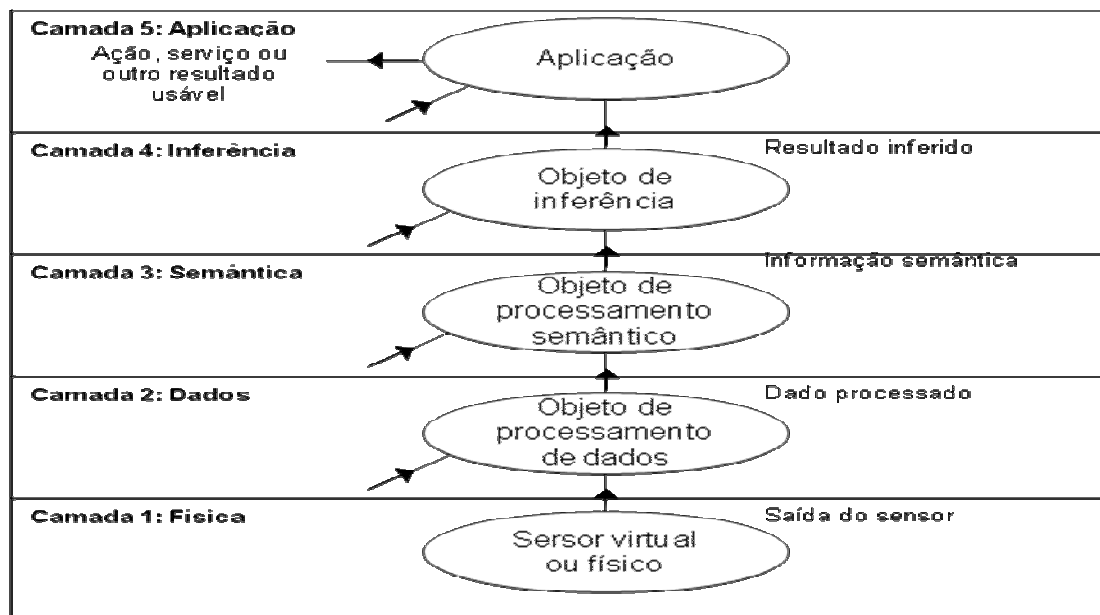


FIGURA 8. Modelo de aplicação ciente de contexto (adaptado de Ailisto et al. (2002)).

Na camada física os sensores e outros objetos produzem saída em formato bruto. Na camada de dados os objetos produzem dados processados. Na camada semântica os objetos transformam os dados em um formulário que é significativo para a inferência de contexto. Na camada de inferência, as informações do nível semântico, a informação inicial e as regras de inferência fazem suposições sobre o que o usuário (seja homem ou máquina) está fazendo e quais tipos de serviços o usuário pode querer. Na camada de aplicação, as ações, os serviços ou outros resultados utilizáveis são disponibilizados para a aplicação.

4.3 Modelos de contexto

O modelo de contexto é utilizado em uma máquina processável de forma a definir e armazenar dados de contexto. As abordagens cientes de contexto são baseadas em estruturas de dados usadas para representar e trocar informações contextuais em um sistema (Strang; Linnhoff-Popien, 2004). Estas incluem:

1. **Modelos de chave-valor:** representam a mais simples estrutura de dados para modelagem de contexto;
2. **Modelos de esquema de marcação:** todos os modelos baseados em marcação utilizam uma estrutura de dados hierárquicos constituído de etiquetas de marcação de atributos e conteúdo. Típica representação de perfis de modelos de esquema de marcação;
3. **Modelos gráficos:** a modelagem de linguagem unificada (Unified Modeling Language – UML) também é utilizada como modelo de contexto;
4. **Modelos orientados a objeto:** providos de encapsulamento, reutilização e herança;
5. **Modelos baseados em lógica:** fatos, regras e expressões são utilizadas para definir um modelo de contexto;
6. **Modelos baseados em ontologias:** ontologias representam uma descrição de conceitos e as relações entre as entidades e constituem-se num promissor instrumento para modelagem de

informações contextuais devido a sua alta e formal expressividade e as possibilidades para aplicação de técnicas de ontologia de raciocínio.

Sensores capturam eventos. Os contextos são compostos de eventos relacionados. Os contextos podem ser muito simples quando referenciados a um único evento, como temperatura, pressão atmosférica ou presença de fumaça, ou mais complexos quando compostos por dois ou mais eventos relacionados, tais como a ocorrência de incêndios (uma combinação dos seguintes eventos relacionados: “aumento de temperatura”, “presença de oxigênio” e “presença de material combustível”).

A interpretação de contexto pode ser descrita como um conjunto de métodos e processos que envolvem manipulação, agregação, derivação, inferência e refinamento de informações que são importantes para a aplicação (Calvi, 2006). O principal objetivo da interpretação de contexto é basicamente aumentar o nível de informação e abstração a fim de ajudar a aplicações no processo de tomada decisória.

4.4 Sistemas de interpretação de contexto

Há várias abordagens para sistemas cientes de contexto (Baldauf; Dustdar; Rosenberg, 2007), (Fahy, 2004), (Chen, 2003), (Dey; Abowd; Salber, 1999), (Truong; Lee; Lee, 2005a), (Guan et al., 2007), (Truong; Lee; Lee, 2005b), (Roman et al., 2002), (Gu, 2004) e (Gu; Wang, 2004). Cada um adota um tipo diferente de modelagem de contexto (camada semântica) e método de interpretação de contexto (camada de inferência). Esta Seção discute estas diferentes abordagens.

4.4.1 Subestrutura de ciência de contexto - Context-Awareness Sub-Structure

Fahy e Clarke (2004) desenvolveram um *middleware* baseado em serviço, *Context-Awareness Sub-Structure (CASS)*, para apoiar aplicações cientes de contexto em computadores de mão ou dispositivos similares. Um banco de dados relacional armazena conhecimento de contexto e de domínio na forma de regras cientes de contexto. Os dados podem ser lidos e manipulados em um nível elevado de abstração usando *Structured Query Language (SQL)*. Na FIGURA 9 é apresentada a arquitetura CASS.

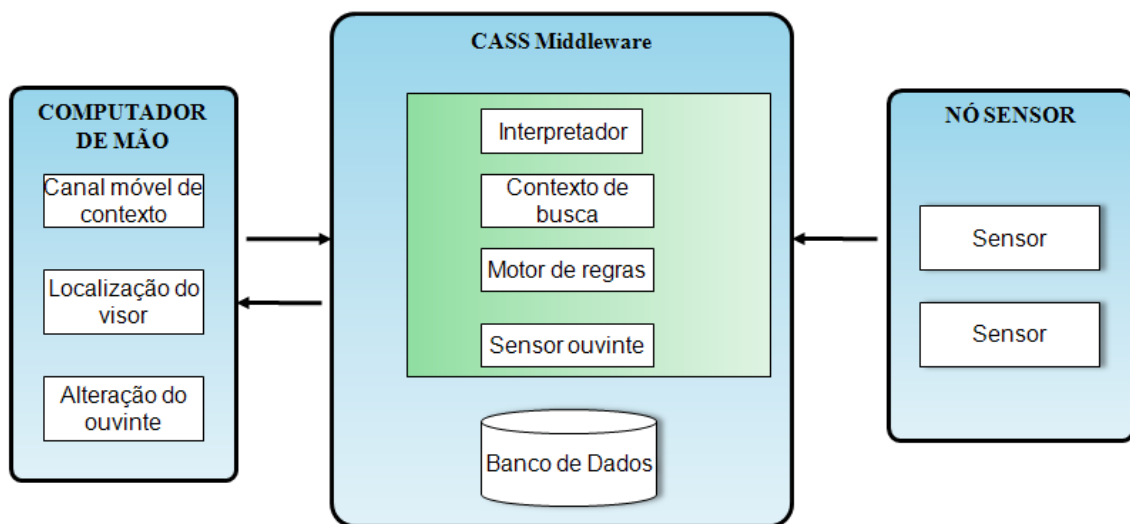


FIGURA 9. Arquitetura CASS - adotada de (Fahy e Clarke, 2004)

4.4.2 Context Broker Architecture (COBRA)

Chen et al. (Chen; Finin; Joshi, 2003) desenvolveram uma infraestrutura de computação pervasiva ciente de contexto, chamada *Context Broker Architecture (COBRA)*, para auxiliar agentes ubíquos, serviços e dispositivos inteligentes de acordo com suas situações de contexto. COBRA usa sua própria abordagem de ontologia baseada em OWL, chamada COBRA-Ont, para representar e compartilhar conhecimento de contexto. Esta ontologia descreve pessoas, agentes, lugares e descrição de eventos para apoiar um sistema inteligente de salas

de reunião em um campus universitário. Os autores desenvolveram um motor de inferência OWL chamado F-OWL utilizando Flora-2, uma linguagem baseada em conhecimento orientada a objeto. F-OWL é um motor de inferência lógica movido por regras. Na Figura 10 é apresentada a arquitetura COBRA.

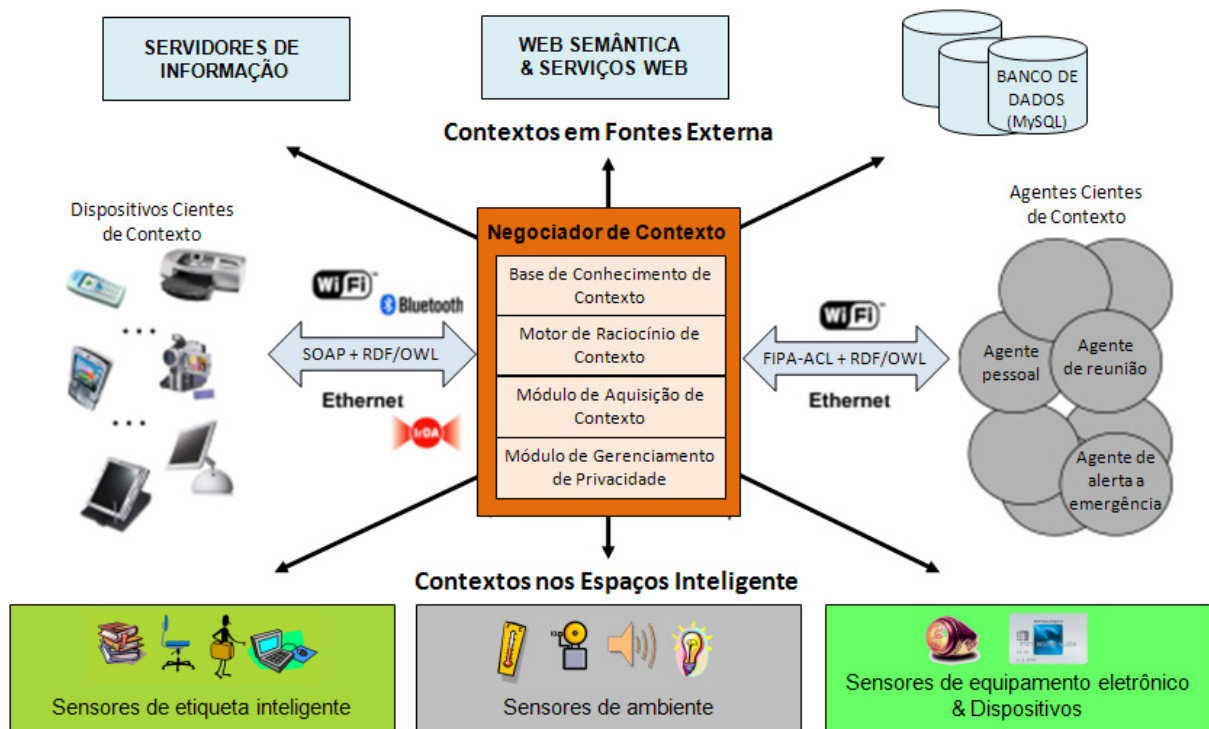


Figura 10. Arquitetura COBRA (adaptada de Chen; Finin; Joshi (2003)).

4.4.3 Context Toolkit

O *Context Toolkit* (Dey; Abowd; Salber, 1999), um dos primeiros *frameworks* projetados para tratar contexto, é um descobridor centralizado onde unidades de sensores distribuídos (chamados *widgets*), interpretadores e agregadores são registrados de forma a serem encontrados pelas aplicações clientes. Os contextos são codificados usando XML para transmissão em simples tuplas de atributo-valor. Os servidores de contexto implementam uma abstração da agregação. Eles são utilizados para coletar todo o contexto de uma determinada entidade. O servidor de contexto é responsável por subscrever cada *widgets* de interesse, e age como um *Proxy* para a aplicação. Os interpretadores de contexto

são responsáveis por implementar uma abstração da interpretação. Por separar a abstração da interpretação das aplicações, o interpretador de contexto permite seu reuso por múltiplas aplicações. Na FIGURA 11 é mostrado o fluxo de dados entre aplicações e infra-estrutura no contexto.

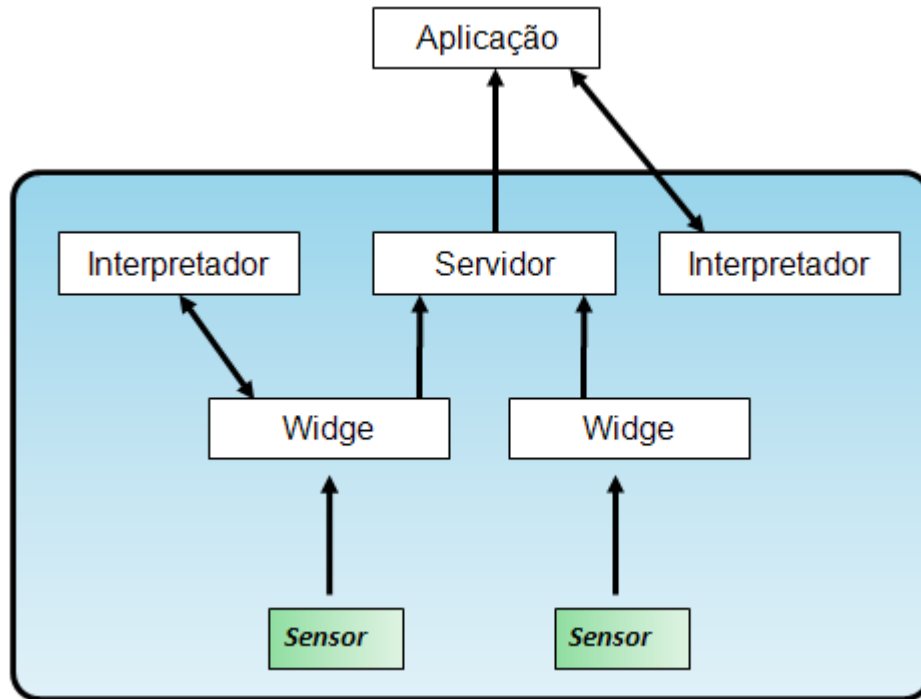


FIGURA 11. Fluxo de dados entre aplicações e infra-estrutura no contexto (adaptada de Dey; Abowd; Salber, 1999).

4.4.4 Context Aware Middleware for Ubiquitous Services (CAMUS)

O *Context Aware Middleware for Ubiquitous Services (CAMUS)* fornece um *framework* para o desenvolvimento de aplicativos cientes de contexto. Os criadores do CAMUS desenvolveram uma ontologia de contexto para um tipo específico de domínio utilizando OWL. Esta ontologia de contexto não apenas fornece o vocabulário para representar o conhecimento estrutural e relacional nesse domínio, mas representa também o conhecimento que pode ser usado para inferência probabilística. A seguir são descritos os módulos da arquitetura CAMUS, que pode ser vista na Figura 12.

Os Agentes FX (*Feature Extraction Agents* - agente de extração de característica) são agentes de sensoriamento que extraem a maioria das

características descritivas para os contextos serem inferidos nas camadas acima (Shehzad et al., 2004).

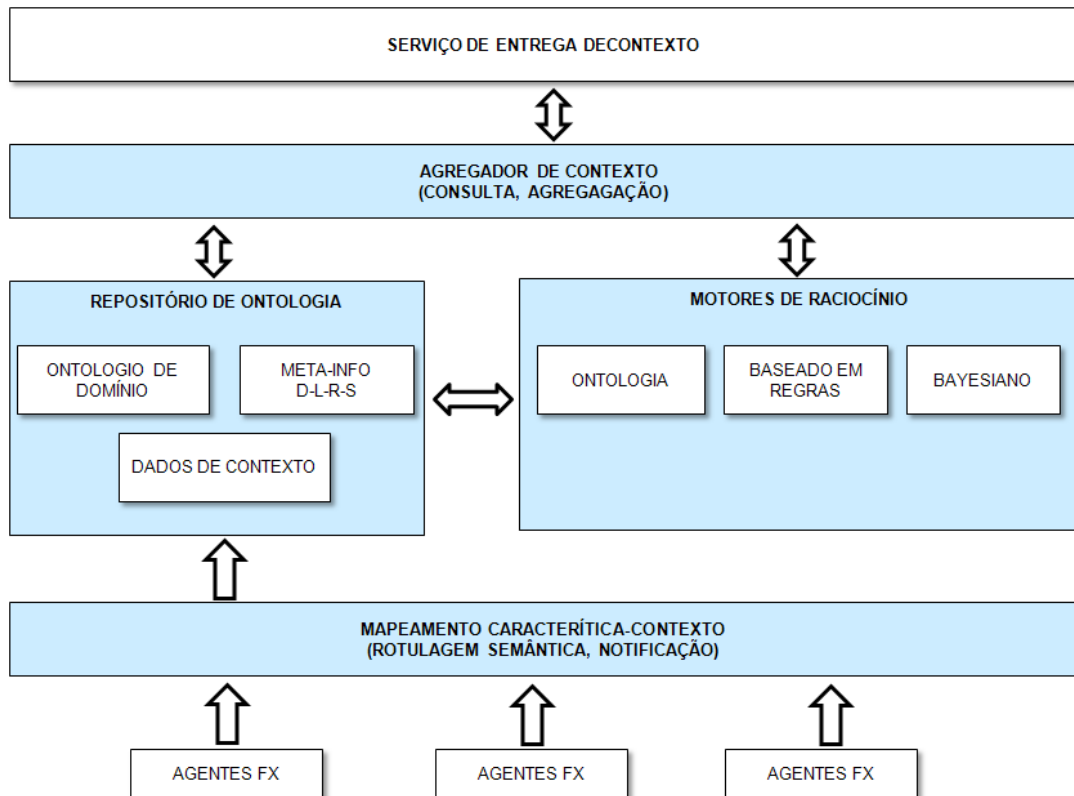


FIGURA 12. Arquitetura CAMUS (adaptada de Truong; Lee; Lee (2005a)).

O módulo Mapeamento Característica - Contexto executa o mapeamento necessário para converter uma dada característica em contexto simples, baseado na meta-informação guardada no repositório de ontologia (Shehzad et al., 2004).

O Repositório de Ontologia fornece os serviços de armazenamento básico em um modo escalável e confiável; contém a ontologia de domínio (conceitos e propriedades); informações contextuais (incluindo contextos simples e compostos); e meta-informação (D: dispositivos; L: rotulação de característica-contexto; R: entrada, saída e capacidade de plugar módulos de raciocínio; e S: mecanismo de acesso aos sensores) (Shehzad et al., 2004).

O Motor de Raciocínio é uma coleção de vários módulos de raciocínio plugável para controlar os fatos presentes no repositório bem como produzir contextos compostos. Eles podem apoiar dois tipos de inferência (Shehzad et al., 2004) (Truong; Lee; Lee, 2005a):

- **Ontológica:** inferência baseada em regras para contextos de consenso;
- **Probabilística (ou rede Bayesiana):** inferência para contextos imprecisos.

O Agregador de Contexto fornece alguns serviços básicos como serviço de consultas a contexto ou um simples serviço que detecta se usuário é avisado para executar determinadas ações (Truong; Lee; Lee, 2005a). O Serviço de Entrega de Contexto administra os agregadores de contexto e distribui-os para as aplicações adequadas.

4.4.5 Gaia

O Projeto Gaia (Roman et al., 2002) estende o alcance dos tradicionais sistemas operacionais para gerenciamento de ambientes com computação ubíqua e espaços habitados como ambientes com programação integrada. O modelo de contexto foi baseado na lógica de primeira ordem e álgebra booleana. Representação de contexto usa um predicado de primeira ordem com quatro argumentos, chamados predicados 4-ary, na forma: Contexto (<tipo de contexto>, <assunto>, <relação>, <objeto>) escrita em *Darpa Agent Markup Language + Ontology Inference Layer* (DAML + OIL). O serviço de contexto permite às aplicações consultar e registrar informação de contexto específica, que as ajudam a adaptar-se ao seu ambiente. Na Figura 13 é apresentada a arquitetura GAIA.

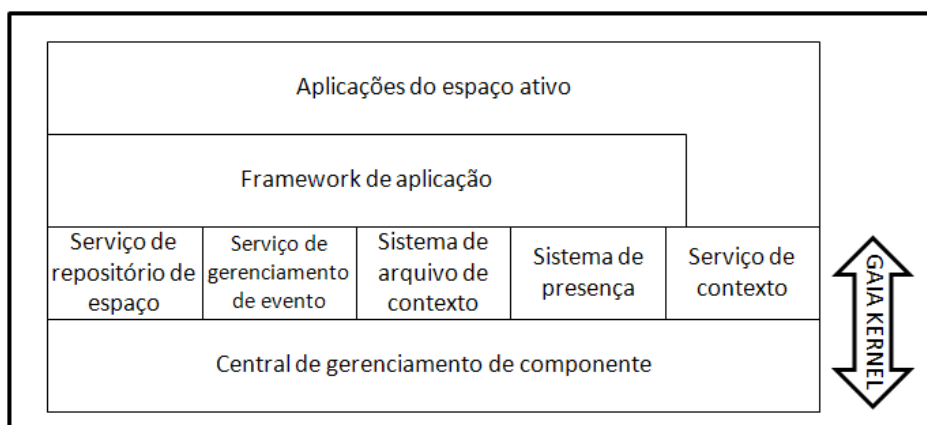


Figura 13. Arquitetura GAIA – adotada de (Roman et al., 2002)

4.4.6 SOCAM

Gu et al.(2004) (Gu; Pung; Zhang, 2004a) desenvolveram um middleware ciente de contexto orientado a serviço, *Service-Oriented Context-Aware Middleware* (SOCAM) criado para construção e rápida prototipagem de serviços móveis cientes de contexto. Na Figura 14 é apresentada a arquitetura SOCAM.

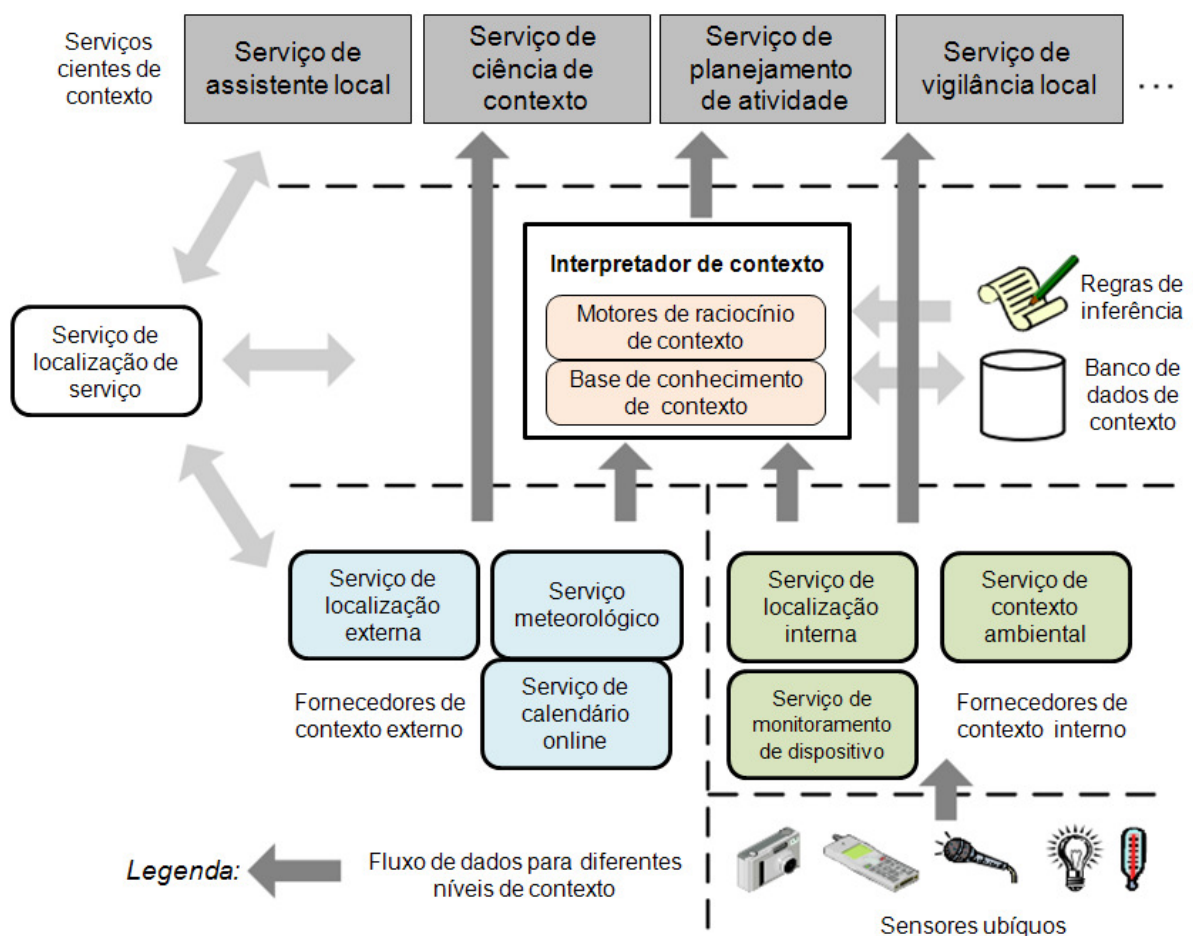


FIGURA 14. Arquitetura SOCAM – adotada de Gu; Pung; Zhang, 2004a.

O modelo de contexto é baseado em uma ontologia (OWL) que fornece um vocabulário para representação do conhecimento sobre um domínio e para descrever situações específicas em um domínio. A extensão de probabilidade representa contextos imprecisos em um modelo baseado em ontologia. O interpretador de contexto é composto de um inferenciador de contexto e por uma base de conhecimento de contexto (*KB - knowledge base*), implementado utilizando

Jena2, uma ferramenta para web semântica. O inferenciador de contexto tem a função de fornecer contextos deduzidos baseados em contextos ordenados, resolver conflitos de contexto e manutenção da coerência da KB. A KB fornece um conjunto de APIs para outros componentes de serviço consultar, acrescentar, apagar ou alterar um conhecimento de contexto. A KB contém ontologias de contexto em um subdomínio e as suas instâncias. No SOGAM foi construído o suporte para usar ontologia de contexto anotada com probabilidade e Rede Bayesiana (Gu; Pung; Zhang, 2004b). Os autores construíram uma ferramenta computacional para criação de redes Bayesianas (BNJ - Bayesian network software toolkit) no interpretador de contexto como o mecanismo de inferência básico (BNJ, 2008).

4.4.7 **MIDSENSORNET**

Middlewares de uma forma geral são projetados para resolver os desafios impostos por aplicações distribuídas e referem-se a softwares e ferramentas que podem ajudar a esconder a complexidade e heterogeneidade de plataformas de software, hardware e rede, e facilita o gerenciamento de recursos do sistema (Wang et al., 2008). Os principais serviços do MidSensorNet são ilustrados na FIGURA 15. Visão Geral dos principais serviços do MidSensorNet 15.

Fusão de Dados: responsável pela fusão de dados no interior da Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), o *middleware* provê este serviço por meio de uma tecnologia nomeada, agentes móveis. Um agente móvel é um tipo especial de software que possui capacidade de migrar entre nós sensores de uma rede para executar uma tarefa (ou tarefas) autonomicamente, para realizar os objetivos de um despachante de agentes (Chen, Gonzalez, Leung, 2007), no *middleware* chamado de serviço de Gerenciador de Agentes. A motivação em utilizar agentes móveis no interior das RSSF foi propiciada ao analisar o paradigma cliente e servidor. O paradigma cliente e servidor além de utilizar grande largura de banda também provêem muita comunicação gerada entre hops (múltiplos saltos) , ou seja, os dados sensoreados são retransmitidos de nó sensor-em-nó sensor até atingirem o nó sorvedouro levando a um grande gasto energético que pode fazer com que haja um desbalanceamento energético no interior da rede. Na abordagem de agente móvel, o

fundidos e ou agregados no interior da RSSF, após a tarefa realizada, o agente móvel retorna ao *sink* (estação base que recebe os dados dos nós sensores) produzindo um único tráfego ao invés de múltiplos. A solução de agentes móveis utilizada no nosso sistema consiste de agentes fixos alocados nos sensores, e agentes móveis que migram na rede. Na inicialização da rede é realizado o endereçamento dinâmico, desta forma cada nó vizinho conhece as capacidades de cada um de seus vizinhos.

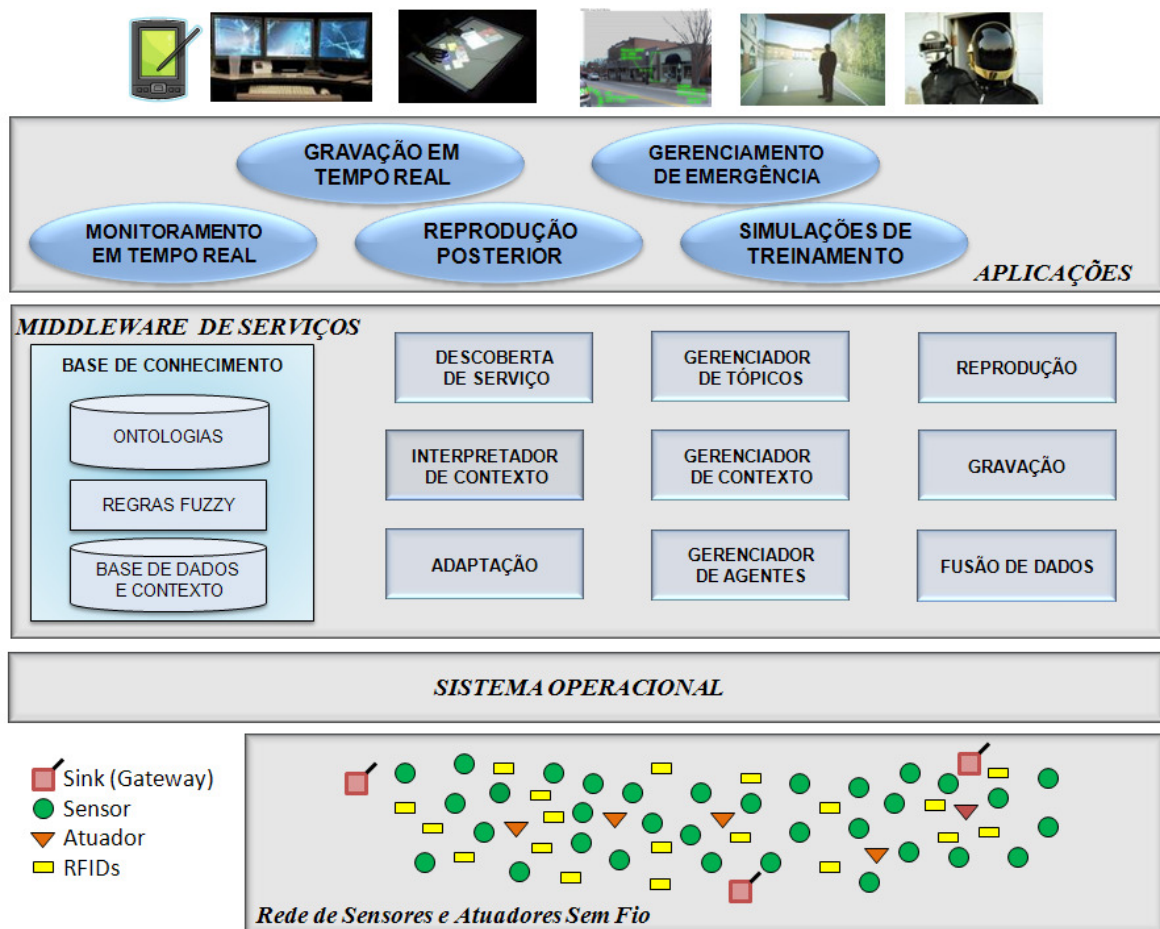


FIGURA 15. Visão Geral dos principais serviços do MidSensorNet

Gravação: responsável por gravar diferentes níveis de informações interpretadas, de agregação de dados a experiências complexas de incidente e acidente. Essas informações são armazenadas em uma base de dados de contexto junto com o tempo que ocorreu.

Interpretação de Contexto: responsável por fornecer informações de alto nível sobre o que é percebido de uma RSSF. Este serviço utiliza uma base de conhecimento composta de ontologias e regras *fuzzy*, uma base de dados e de

contextos, e futuramente redes bayesianas. O principal propósito deste serviço é, basicamente, aumentar o nível de abstração da informação para ajudar aplicações no processo de tomada de decisões. O Serviço de Interpretação de Contexto prove informações de alto nível do que ocorre no ambiente físico. *Radio Frequency Identification* (RFIDS) podem ser integrados no interior de uma RSSF para aumentar o nível de informação de um ambiente físico.

Gerenciador de Agentes: responsável por coordenar e gerenciar o ciclo de vida de agentes móveis. As principais atividades incluem: criar e destruir agentes, serviço de autenticação de agentes, manter as guias de endereços e a manutenção do diretório de agentes atualizadas.

Gerenciador de Tópicos: responsável por intermediar as subscrições de serviços ou aplicações, e as publicações de informações oriundas de sensores no interior da rede. O serviço, Interpretador de Contexto *Publish* e *Subscribe*, contido no Gerenciador de Contexto inscreve-se no Gerenciador de Tópicos que expressa um interesse em certo tipo de informação por subscrição em determinados nós sensores. Quando um nó detecta alguma informação, ele verifica se existe alguma subscrição para o tipo de dado e o envia para o Gerenciador de Tópicos utilizando uma mensagem de notificação de modo assíncrono, e este para o Interpretador de Contexto *Publish* e *Subscribe*.

Gerenciador de Contexto: responsável por interpretar requisições de aplicações de alto nível ou de um evento que ocorre no interior da rede, em requisições compreendidas pelo Gerenciador de Agentes e ou Gerenciador de Tópicos. Ele tem a função de consultar o serviço de Interpretação de Contexto e retornar o resultado para o serviço ou a aplicação que o requisitou.

Reprodução: responsável por exibir o ambiente virtual 3D (AV3D). O AV3D reproduz o ambiente físico tão próximo possível o real. O AV3D é renderizado em sincronia com o contexto armazenado (pelo Serviço de Gravação) junto com um intervalo de tempo. Os contextos armazenados são mapeados em uma linguagem visual e renderizado por um browser.

Descoberta de Serviços: responsável por prover a localização dos serviços do *middleware*. Uma vez os serviços localizados, eles podem ser acessados por aplicações ou por outros serviços via Web Services.

Adaptação: responsável por executar mudanças ou adaptações na rede e dispositivos de acordo com as respectivas capacidades e por políticas de adaptação.

Base de Conhecimento: um conjunto lógico que contém repositórios de ontologias, regras *fuzzy*, base de dados e de contextos utilizados pelo serviço de interpretação para identificação de eventuais anormalidades no ambiente físico sendo monitorado.

4.4.8 Comparação entre as arquiteturas

Na Tabela 2 é mostrado o resumo das características das soluções mencionadas relativas às camadas semânticas e inferência e como se comparam ao *middleware* MidSensorNet.

TABELA 2. Camadas de semântica e de inferência de arquiteturas existentes.

| ARQUITETURA | CAMADA SEMÂNTICA | CAMADA DE INFERÊNCIA |
|------------------------|---|--|
| CASS | Modelo de dados relacional | Motor de inferência (SQL) |
| CoBrA | Ontologias (OWL) | Motor de inferência F-OWL (Flora 2) |
| <i>Context Toolkit</i> | Valor - atributo (XML) | Interpretação e agregação de contexto |
| CAMUS | Ontologias (OWL) com conhecimento probabilístico | Motores de inferência e agregadores de contexto (Jena2 e rede Bayesiana) |
| Gaia | 4-ary predicados (DAML + OIL) | Módulo de serviço de contexto (lógica de primeira ordem) |
| SOCAM | Ontologias (OWL) com anotações de contexto de probabilidade | Inferenciador de contexto e base de conhecimento de contexto- KB (Jena2 e BNJ) |
| MidSensorNet | Ontologias (OWL) e regras <i>Fuzzy</i> | Serviço de Interpretação de Contexto (Jena2 e <i>fuzzyJToolkit</i>) |

5 PROJETO DE UM SERVIÇO DE INTERPRETAÇÃO DE CONTEXTO EM APOIO À PREPARAÇÃO E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS

Este capítulo apresenta o projeto e implementação de um serviço de interpretação de contexto que integra ontologias e lógica *fuzzy* para apoio à tomada de decisão de equipes de preparação e resposta a emergências. Para isso são descritas as ontologias, criadas como parte deste trabalho, relacionadas às situações de emergência. É apresentada também a base de conhecimento gerada neste trabalho com a ajuda de especialistas no domínio de preparação e resposta a emergências para a realização da interpretação de contexto. Essa base de conhecimento é formada pela integração de ontologias e por um sistema de inferência *fuzzy*. Para validar o serviço de interpretação desenvolvido como ferramenta de auxílio em palcos emergenciais, foi elaborada uma prova de conceito que utiliza uma planta industrial de uma empresa situada no município de São Carlos-SP.

5.1 *Middleware* de serviço para gerenciamento de emergência

É importante salientar que o trabalho apresentado é parte de um projeto maior cuja finalidade é monitorar ambientes físicos em tempo real com uma rede de sensores sem fio (projeto sendo desenvolvido pelo Laboratório de Realidade Virtual em Rede) e utilizar estes ambientes como cenários de simulações de situações de emergência para treinamento virtual. Dessa forma, as ontologias serão utilizadas também na interpretação de contexto realizada com os dados que são capturados por sensores espalhados no ambiente físico real. Estes dados interpretados serão armazenados em um banco de dados de contexto, que ficará disponível para consulta de eventos que poderão ser utilizados em cenários de treinamento. As áreas de aplicação concentram-se em plantas industriais.

O serviço de interpretação de contexto faz parte do MidSensorNet, um *middleware* que atende aos requisitos de aplicações de gerenciamento emergencial a partir de uma rede de sensores integrada com dispositivos *Radio-Frequency*

Identification (RFID) (Araújo; Villas; Ribeiro, 2008). O MidSensorNet está sendo desenvolvido por outro aluno de mestrado do LRVNet e é descrito em detalhes na seção 4.4.7 do Capítulo 4. Na **Error! Reference source not found.** é mostrada a arquitetura geral do MidSensorNet com ênfase no serviço de interpretação de contexto.

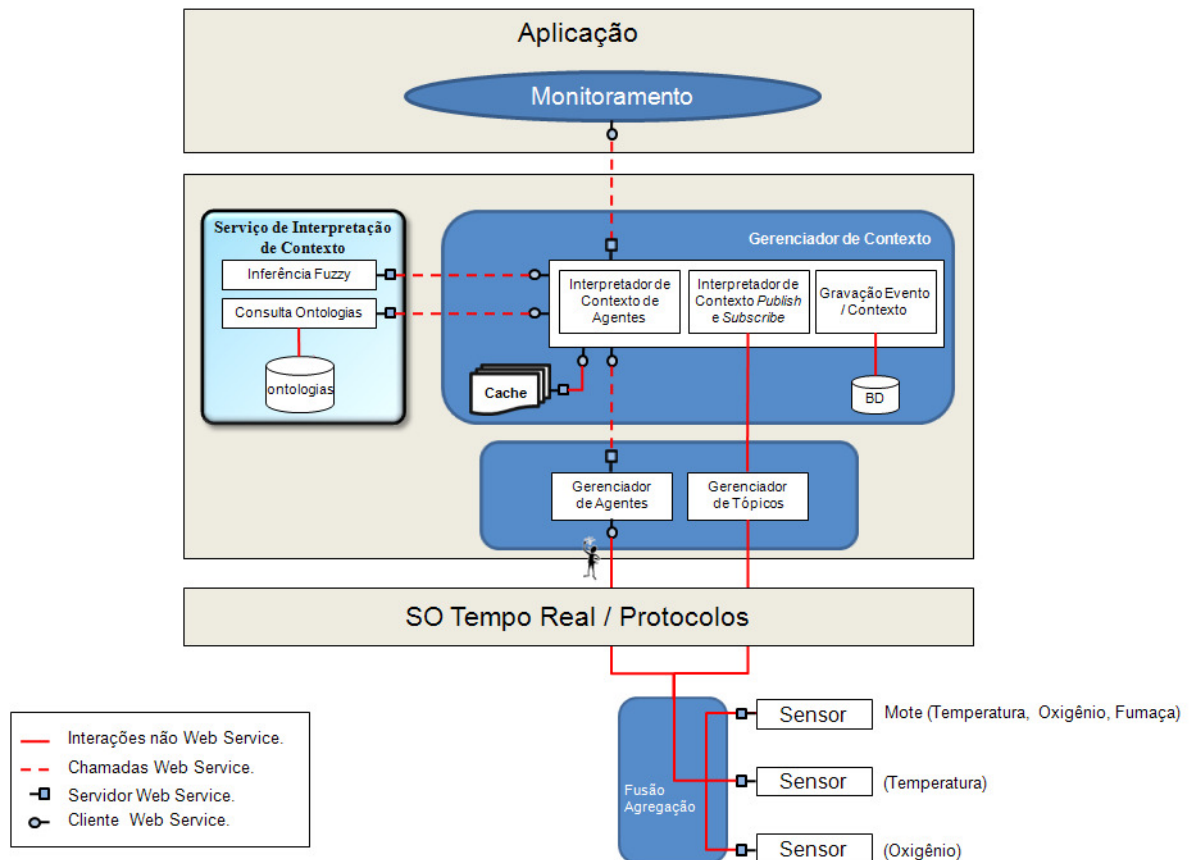


FIGURA 16. Arquitetura geral do MidSensorNet com ênfase no serviço de interpretação de contexto.

O serviço de interpretação de contexto é responsável por receber subscrições de aplicações que requerem informações mais precisas sobre o que está ocorrendo no ambiente sendo monitorado. Estas informações são obtidas por meio de uma base de conhecimento que é composta por ontologias e regras *fuzzy*. O serviço de interpretação de contexto é descrito em detalhes na próxima Seção. Os outros serviços do middleware MidSensorNet são descritos no Capítulo 4.

5.2 Serviço de Interpretação de Contexto do MIDSSENSORNet

O serviço de interpretação de contexto utiliza uma base de conhecimento composta por um conjunto de cinco ontologias e regras *fuzzy* para interpretação de informações coletadas de sensores espalhados no ambiente físico. A interpretação é realizada a partir da consulta de instâncias nas ontologias e da inferência realizada pelo sistema de inferência *fuzzy* nas regras *fuzzy*.

Seu grau de relevância pode ser observado como importante ferramenta de apoio ao assessorar equipes de combate a um sinistro. A exemplo de uma ocorrência de incêndio, questões como 1) Qual a fase do fogo?, 2) Qual é a melhor técnica para combate ao sinistro (água, espuma, CO₂), 3) Qual é o risco principal?, 4) Quais são os riscos vizinhos ao sinistro?. As respostas a estas questões são obtidas na base de conhecimentos, por técnicas que utilizam ontologias e regras *fuzzy*.

A Figura 17 mostra uma visão geral do serviço de interpretação de contexto desenvolvido.

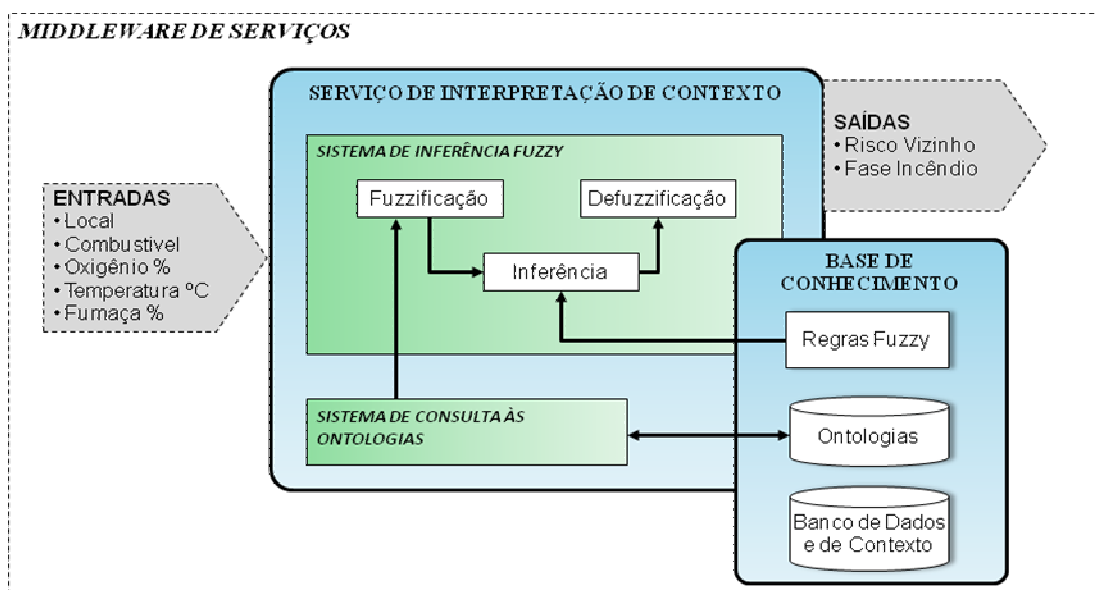


FIGURA 17. Visão Geral do Serviço de Interpretação de Contexto.

5.3 Representação de Conhecimento sobre Incêndio e Explosão

O serviço de interpretação implementado como parte deste trabalho poderá ser utilizado no gerenciamento da ocorrência de incêndio em plantas

industriais com grande risco de explosões (*flash over*¹, *backdraft*² e *boil over*³) a partir da ocorrência de um incêndio, o que atende à análise de risco. Uma explosão é um fenômeno acompanhado de rápida expansão de um sistema de gases, seguida de uma rápida elevação na pressão; seu principal efeito é o desenvolvimento de uma onda de choque com ruído (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2006). Nesta seção será feita uma prova de conceito sobre incêndio e explosão, que compreende conceitos importantes e utilizados na implementação do sistema especialista, cuja metodologia foi descrita no Capítulo 3, seção 3.8.

5.3.1 Incêndio

Para que um incêndio ocorra é necessária a presença de três elementos em condições ideais: combustível, comburente (geralmente o oxigênio) e fonte de ignição (calor). Esses três elementos formam o triângulo do fogo (Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, 2006a).

Combustível é toda a substância capaz de queimar e alimentar a combustão. É o elemento que serve de campo de propagação ao fogo. Apresenta-se em três estados: sólido, líquido ou gasoso. A grande maioria dos combustíveis precisa passar pelo estado gasoso para, então, combinar-se com o oxigênio.

Comburente é o elemento que possibilita vida às chamas e intensifica a combustão. O mais comum é que o oxigênio desempenhe esse papel. A atmosfera é composta por 21% de oxigênio. Em ambientes com a composição normal do ar, a queima desenvolve-se com velocidade e de maneira completa e notam-se chamas. Contudo, a combustão consome o oxigênio do ar num processo contínuo. Quando a porcentagem do oxigênio do ar ambiente passa de 21% para a faixa compreendida entre 8% e 16%, a queima torna-se mais lenta, surgem brasas e não mais chamas.

¹ **Flash over:** havendo uma oxigenação adequada com semelhante elevação da temperatura, o incêndio poderá progredir para uma ignição súbita generalizada.

² **Backdraft:** se a oxigenação é inadequada (incêndio controlado pela falta de ventilação) e a temperatura permanece em elevação, poderemos progredir para uma ignição explosiva, caso ocorra uma entrada brusca de oxigênio.

³ **Boil over:** é a explosão total ou parcial de petróleo ou outros líquidos combustíveis, em forma de espuma, de um tanque em chamas, quando o calor atinge a água acumulada no fundo do tanque.

Quando o oxigênio contido no ar do ambiente atinge concentrações menores de 8%, a combustão deixa de existir.

Como tudo na natureza tende ao equilíbrio, o calor é transferido de objetos com temperatura mais alta para aqueles com temperatura mais baixa. O mais frio de dois objetos absorverá calor até que esteja com a mesma quantidade de energia do outro. O calor pode se propagar de três diferentes maneiras: **condução**: transferência de calor através de um corpo sólido de molécula a molécula; **convecção**: transferência de calor pelo movimento ascendente de massas de gases ou de líquidos dentro de si próprios; **irradiação**: transmissão de calor por ondas de energia calorífica que se deslocam através do espaço.

Se a oxigenação é inadequada (incêndio controlado pela falta de ventilação) e a temperatura permanece em elevação, poderá ocorrer uma ignição explosiva (*backdraft*) caso ocorra uma entrada brusca de oxigênio. Quando o oxigênio contido no ar do ambiente atinge concentrações menores de 8%, a combustão deixa de existir.

Dependendo da etapa do incêndio pode haver um tipo diferente de explosão, conforme é mostrado na Figura 18.

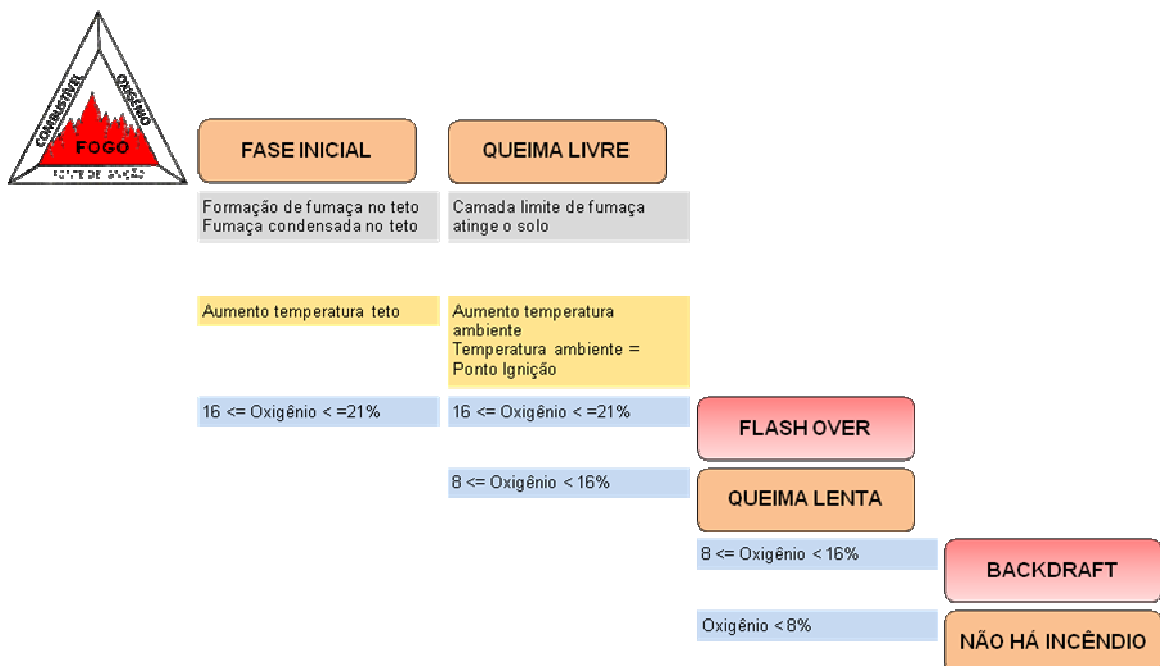


FIGURA 18. Gráfico da evolução do Incêndio.

As três principais técnicas de combate ao incêndio são (CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006a): **Resfriamento**: quebra do

triângulo do fogo pela retirada da fonte de ignição. A água é o agente extintor mais usado, por ter grande capacidade de absorver calor e ser facilmente encontrada na natureza. Um agente extintor é qualquer produto utilizado para extinguir o fogo; **Abafamento:** quebra do triângulo do fogo pela retirada do comburente. Pode-se abafar o fogo com uso de materiais diversos, como areia, terra, cobertores, vapor d'água, espumas, pós, gases especiais etc.; **Isolamento:** quebra do triângulo do fogo pela retirada do combustível. É a forma mais simples de se extinguir um incêndio. Baseia-se na retirada do material combustível, ainda não atingido, da área de propagação do fogo, interrompendo a alimentação da combustão.

5.3.2 Explosão

Na prova de conceito é apresentado o estudo referente à ocorrência de explosão por *boil over*.

A explosão por *boil over* (ebulição turbilhonar) ocorre quando há um arremesso de água para dentro de um tanque em chamas, com petróleo ou outro líquido combustível não miscível com a água (CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006a). Quando a água é atingida pela onda de calor que se forma em consequência da combustão do produto, ocorre ebulição da água e bolhas que ao chegarem à superfície do tanque, explodem e espalham líquido quente que podem gerar graves acidentes. Para que este fenômeno ocorra, é necessário que o tanque já tenha perdido seu teto. A explosão por *boil over* pode ocorrer em qualquer uma das fases do incêndio (inicial, queima livre ou queima lenta).

É possível identificar dois eventos que são necessários para que se produza uma explosão por *boil over*:

1. **Arremesso de água para dentro do tanque:** a melhor forma de extinguir um incêndio em locais com tanques com líquidos combustíveis é por abafamento. Mas em condições em que a equipe de resgate não tem informações sobre a existência de tanques contendo combustível não miscível com a água, pode ocorrer à tentativa de extinção por resfriamento.

2. **Temperatura do lugar maior 100°C:** condição que se faz necessária para que ocorra ebulição da água.

Na Figura 19 são apresentadas as características necessárias para a ocorrência de um *boil over*, bem como os eventos que a provocam e as técnicas utilizadas para combate.

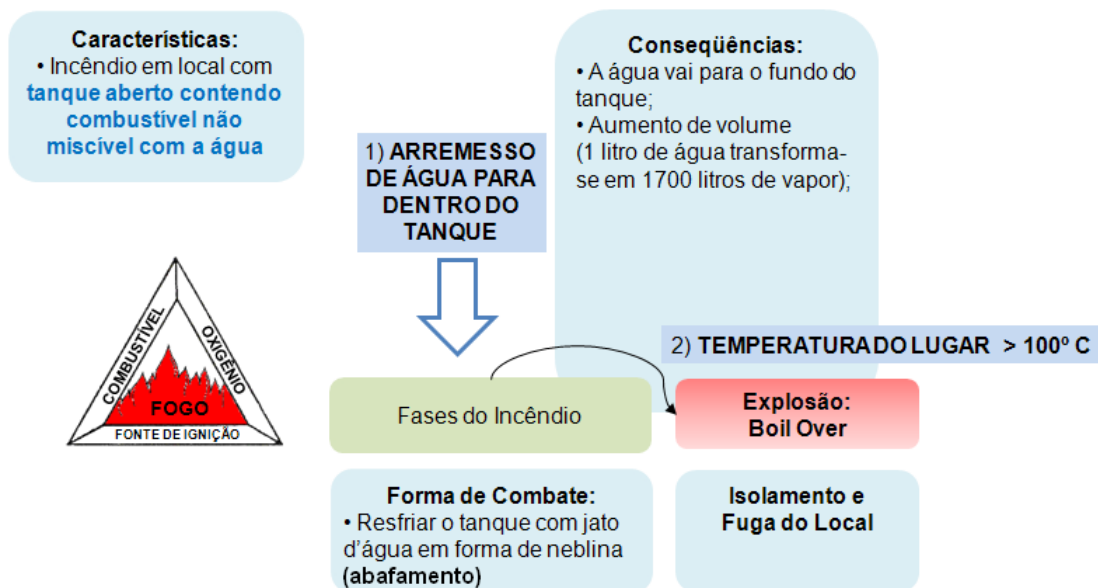


FIGURA 19. Gráfico da evolução do incêndio com explosão por *Boil Over*.

5.4 Integração entre Ontologias e Lógica Fuzzy

A evolução do Incêndio depende de algumas características e das ações das pessoas em locais em incêndio. O atual estado do incêndio pode ser consultado pelo serviço de interpretação de contexto, uma integração de ontologias e lógica *fuzzy*.

Ontologias contêm muitas propriedades que são necessárias para a formação de conjuntos *Fuzzy* e os resultados vindos de *Fuzzy* podem determinar o atual estado do incêndio. Por exemplo, as ontologias podem sinalizar ao Sistema de Inferência *Fuzzy* sobre um lugar que contém um reservatório com líquido inflamável não miscível em água. Ela também pode sinalizar a presença de água no reservatório (atirado acidentalmente por qualquer dos bombeiros). A temperatura do ambiente e presença de oxigênio também podem ser verificados.

O Sistema de Inferência *Fuzzy* mapeia a entrada de dados nos conjuntos *fuzzy* (fuzzificação) e faz a inferência de saída dos conjuntos *fuzzy*, definidos por meio de regras *fuzzy*, e na interpretação da informação obtida (defuzzificação). Como resultado, um acidente de boil over, por exemplo, pode ser interpretado como o atual estado do sistema. Na Figura 20 é mostrado o fluxograma do algoritmo que implementa consultas às ontologias e regras de inferência *fuzzy* para os riscos vizinhos. O fluxograma do algoritmo para consulta aos riscos vizinhos está na Figura 21 e o fluxograma do algoritmo para consulta a *boil over* é mostrado na Figura 22.

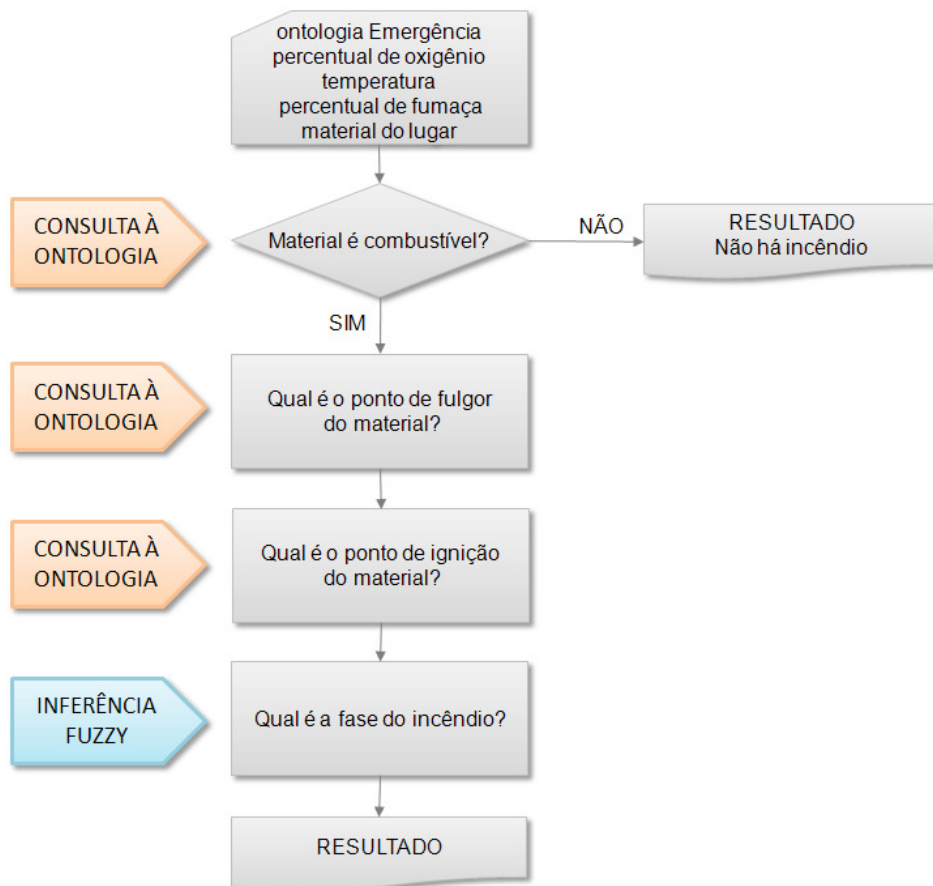


FIGURA 20. Fluxograma do algoritmo para consulta das fases do incêndio

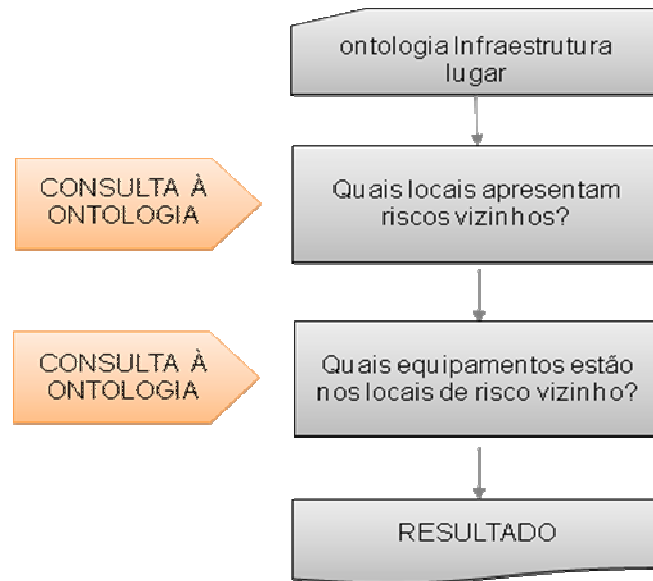


FIGURA 21. Fluxograma do algoritmo de consulta para riscos vizinhos

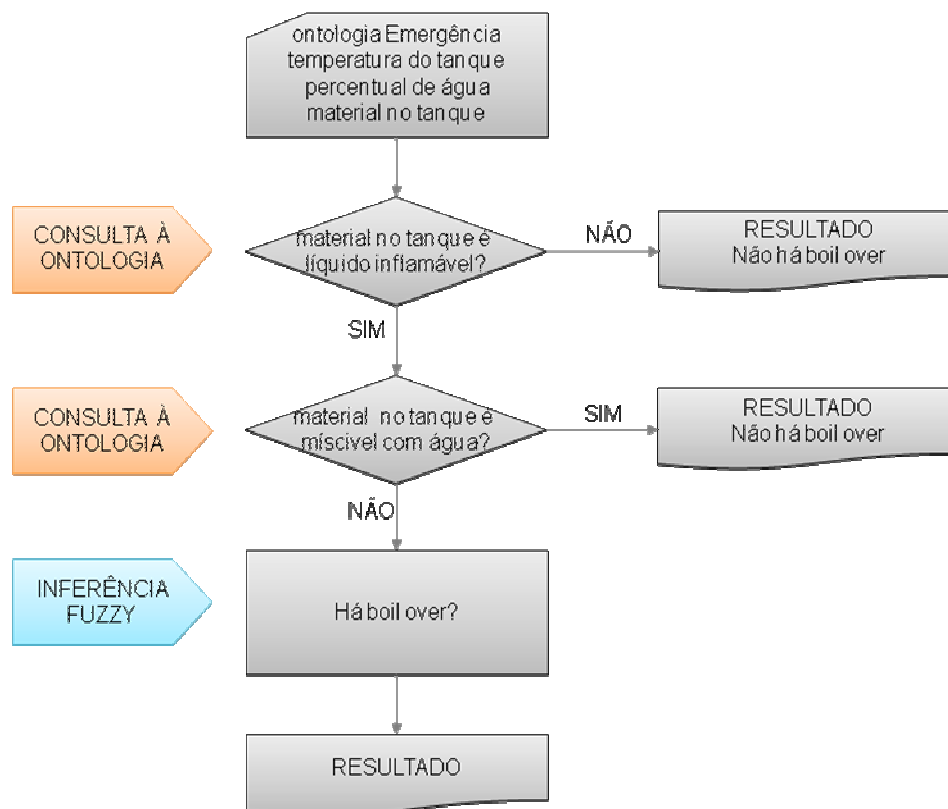


FIGURA 22. Fluxograma do algoritmo de consulta para *boil over*

5.5 Descrição das Ontologias de Emergência

Nesta seção serão descritas as ontologias relacionadas à situação de emergências. As ontologias identificadas para situações de emergência são cinco: infra-estrutura, objeto, pessoa, emergência e tática, conforme é mostrado na Figura 23.

As ontologias foram implementadas utilizando o editor Protégé e a linguagem de descrição de ontologias OWL-DL. As ontologias de emergências foram desenvolvidas em conjunto com o trabalho de outro aluno de mestrado e com o apoio do Corpo de Bombeiros de São Carlos. As cinco ontologias são descritas a seguir.

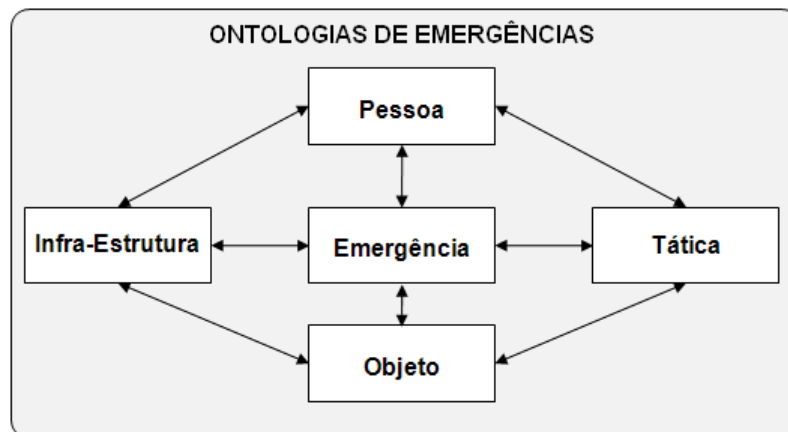


FIGURA 23. Ontologias para simulação de situações de emergência.

5.5.1 Ontologia Infra-Estrutura

A ontologia infra-estrutura suporta a representação de conhecimento de lugares físicos e os seus equipamentos contra incêndio, que são instalados de acordo com Decreto Estadual nº 46.076/01 que dispõe sobre as medidas de segurança contra incêndio nas edificações e áreas de risco (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2005). A ontologia infra-estrutura também contém a descrição de equipamentos valiosos pertencentes ao patrimônio.

Na Figura 24 é apresentada uma visão geral da ontologia de infra-estrutura. O conceito *Equipamento Patrimonial* é um conceito desta ontologia, assim como *Lugar* e *Equipamento Contra Incendio*. Cada retângulo é um conceito que representa uma classe em OWL. Os retângulos preenchidos em cinza são conceitos

que contêm outros subconceitos. As setas tracejadas representam os relacionamentos entre os conceitos.

Os lugares físicos podem ser compostos ou simples. Um lugar composto inclui outros lugares, como, por exemplo, um terreno pode incluir uma edificação e um estacionamento. Os lugares simples são incluídos por algum lugar composto, como por exemplo, um estacionamento é incluído por um terreno e uma sala é incluída por uma edificação. Na Figura 25 é mostrada a descrição do conceito *Sala*.

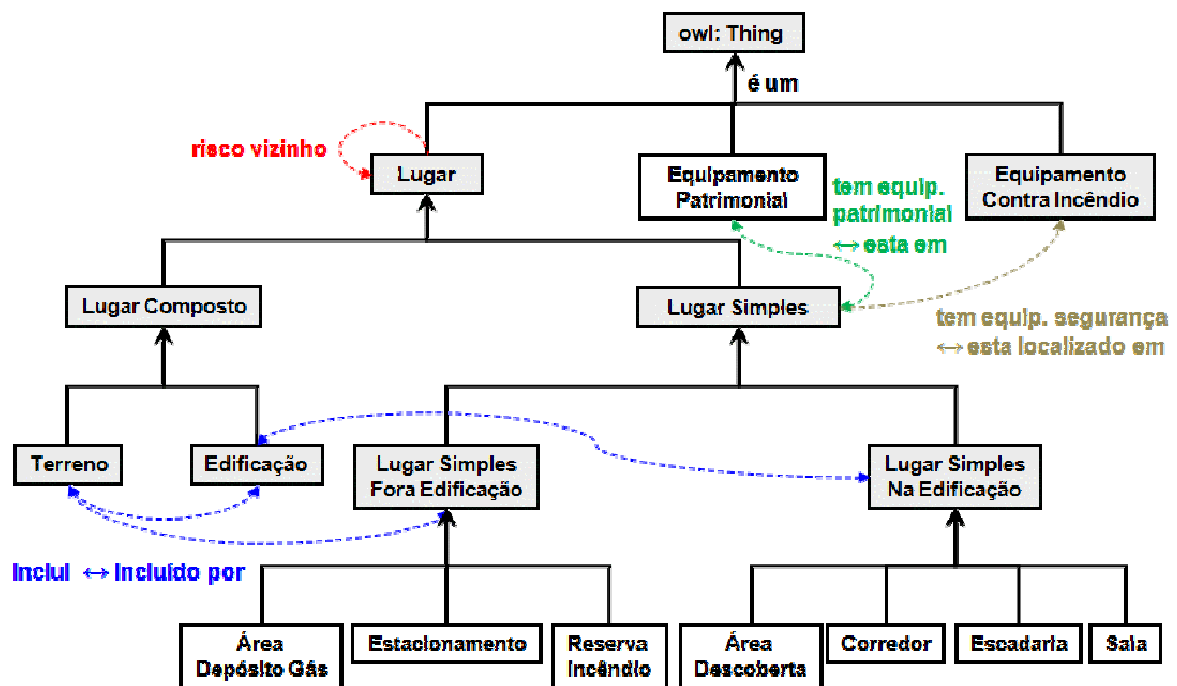


FIGURA 24. Visão geral da ontologia infra-estrutura.

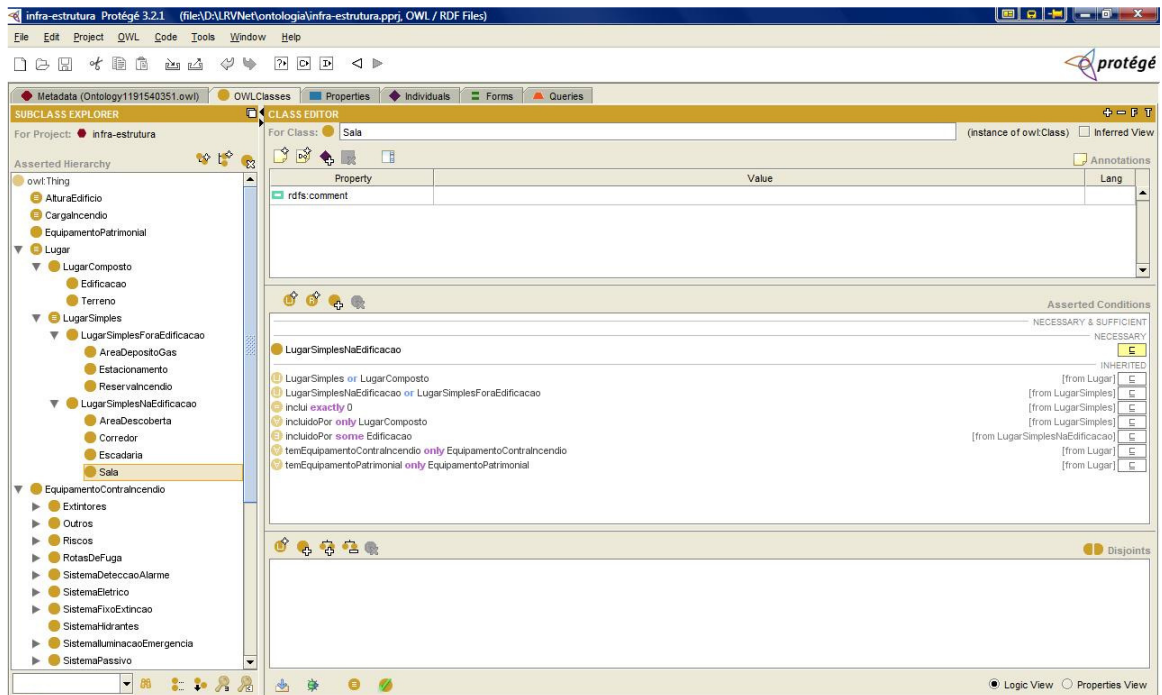


FIGURA 25. Descrição do conceito *Sala* utilizando o editor Protégé

Algumas das propriedades que os lugares físicos têm e que são importantes para as equipes de resgate incluem: quantidade de pessoas, carga incêndio e riscos vizinhos (lugares físicos que são vizinhos ao lugar descrito, eles podem ser ou não um risco potencial a alguma emergência).

A partir desta ontologia é possível pesquisar ambientes próximos a um local sinistrado (por exemplo, um incêndio), e prevenir desastres devido à possibilidade de locais vizinhos apresentarem riscos relevantes (por exemplo, uma área de depósito de gás próxima a um incêndio, apresenta risco de explosão). Na Figura 26 pode ser vista uma consulta no Protégé referente aos riscos vizinhos da produção de uma indústria.

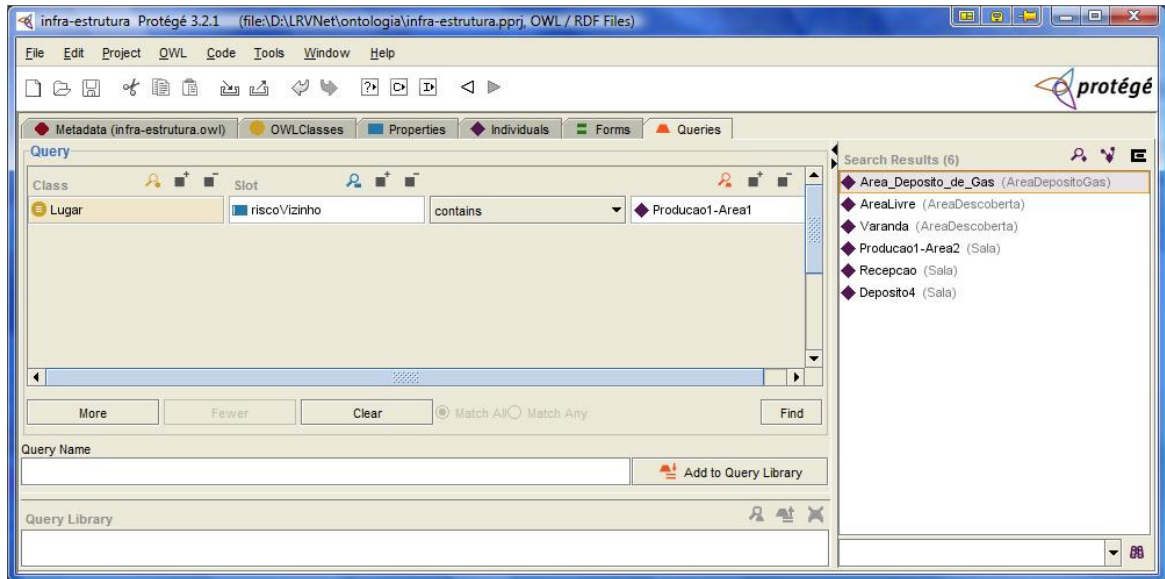


FIGURA 26. Consulta de risco vizinho no Protégé.

As medidas de segurança contra incêndio incluem sistemas de hidrantes, elétrico, fixo de extinção, de detecção de alarme, passivo, de iluminação de emergência e também extintores, rotas de fuga, sinalizações para áreas de riscos, vasos e tanques entre outros equipamentos não classificados, conforme é mostrado pela Figura 27 (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2005). Cada um destes conceitos, que são classes na ontologia de infraestrutura, contém subclasses que as especificam.

Alguns conceitos e propriedades são apresentados na Tabela 3 para exemplificar a ontologia infra-estrutura. Os conceitos que estão indentados são sub-conceitos do conceito acima indentado, por exemplo, *LugarComposto* e *LugarSimples* são subconceitos de Lugar. O símbolo ▼ na frente de um conceito representa que ele é dividido em sub-conceitos.

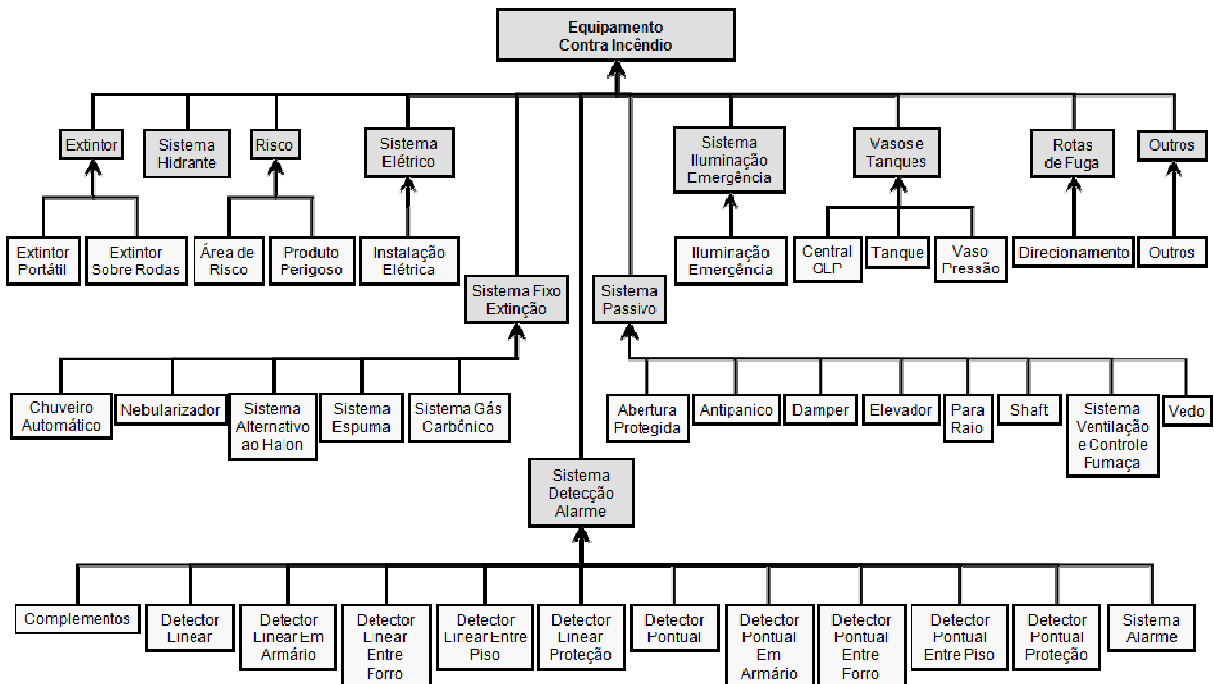


FIGURA 27. Visão geral das medidas de segurança contra incêndio que fazem parte da ontologia infra-estrutura.

TABELA 3. Alguns conceitos e propriedades da ontologia infra-estrutura.

| CONCEITOS | PROPRIEDADES |
|-------------------------------|---|
| ▼ Lugar | TemEquipamento (EquipamentoPatrimonial) TemEquipSeguranca (EquipamentoContraIncendio) riscoVizinho (Lugar) incluidoPor (Lugar) inclui (Lugar) |
| ▼ LugarComposto | |
| Edificacao | classificacaoCargaIncendio quantidadePessoas |
| Terreno | areaTotal risco nroPavimentos altura endereço |
| ▼ LugarSimples | |
| ▼ LugarSimplesForaEdificação | |
| ▼ LugarSimplesNaEdificação | |
| ▼ EquipamentoContraIncendio | estaLocalizadoEm (Lugar) |
| ▼ Extintores | |
| ▼ Risco | |
| ▼ RotasDeFuga | |
| ▼ SistemaDetecçãoAlarme | |
| ▼ SistemaEletrico | |
| ▼ SistemaFixoExtincao | |
| ▼ SistemaHidrantes | |
| ▼ SistemalluminaçãoEmergencia | |
| ▼ SistemaPassivo | |
| ▼ VasosETanques | |
| ▼ EquipamentoPatrimonial | estaEm (Lugar) |

O código em OWL completo da ontologia infra-estrutura está no Apêndice D.

5.5.2 Ontologia Pessoa

A ontologia pessoa expressa os conceitos de pessoas. As pessoas são classificadas em participantes (por exemplo, uma vítima) ou especialistas, que são as que estão envolvidas em alguma atividade de resgate a emergência (por exemplo, um bombeiro).

Esta ontologia contém propriedades de pessoa, tais como idade, sexo, postura (que pode ser em pé, sentado ou deitado), estado da pessoa (que pode ser em movimento ou parado), se está consciente (sim ou não) e qual a localização da pessoa na infra-estrutura. Cada especialista tem uma especialização, que pode ser bombeiro (por exemplo, oficial, sargento, cabo e soldado), policial, paramédico, engenheiro de segurança, defensor civil ou brigadista de incêndio. Os especialistas seguem um protocolo de treinamento definido na ontologia tática. Na Figura 28 é apresentada uma visão geral da ontologia pessoa.

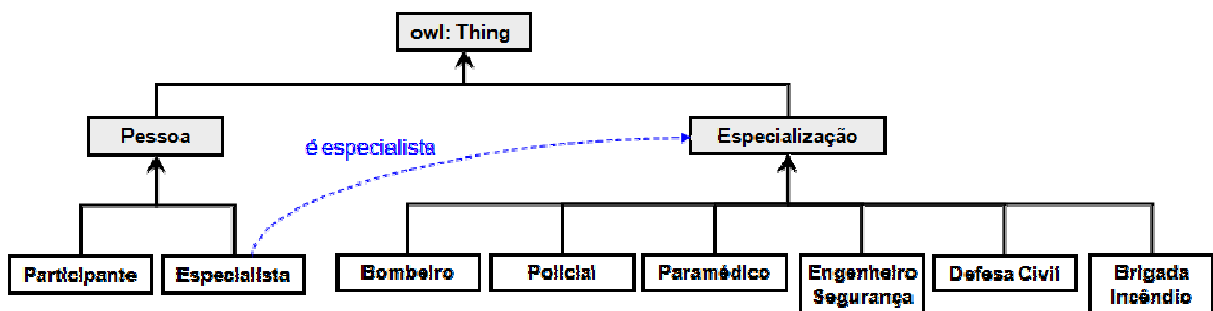


FIGURA 28. Visão geral da ontologia pessoa.

Alguns conceitos e propriedades são apresentados na Tabela 4 para exemplificar a ontologia pessoa.

TABELA 4. Alguns conceitos e propriedades da ontologia pessoa.

| CONCEITOS | PROPRIEDADES |
|------------------------|---|
| ▼ Pessoa | |
| Participante | idade sexo (feminino, masculino) postura (em pé, sentado, deitado) estado (em movimento, parado) consciente (sim, não) está em (Lugar) |
| Especialista | especialização (Especialização) está em (Lugar) |
| ▼ Especialização | |
| ▼ Bombeiro | |
| ▼ Policial | |
| ▼ Paramédico | |
| ▼ Engenheiro Segurança | |
| ▼ Defesa Civil | |
| ▼ Brigada Incêndio | |

O código completo da ontologia infra-estrutura está no Apêndice E.

5.5.3 Ontologia Objeto

A ontologia objeto define um conjunto de conceitos e propriedades para a representação de objetos relacionados à preparação e resposta a emergências. Estes objetos são utilizados pelos especialistas.

O conceito *EquipamentoProtecaoIndividual* inclui bota, capacete, balaclava, capa, calça, luva, lanterna e machadinha. O conceito *Equipamento Proteção Respiratória* inclui cilindros de oxigênio e máscara. Esta ontologia também pode conter outros materiais de salvamento em geral. Na Figura 29 é apresentada uma visão geral da ontologia objeto.

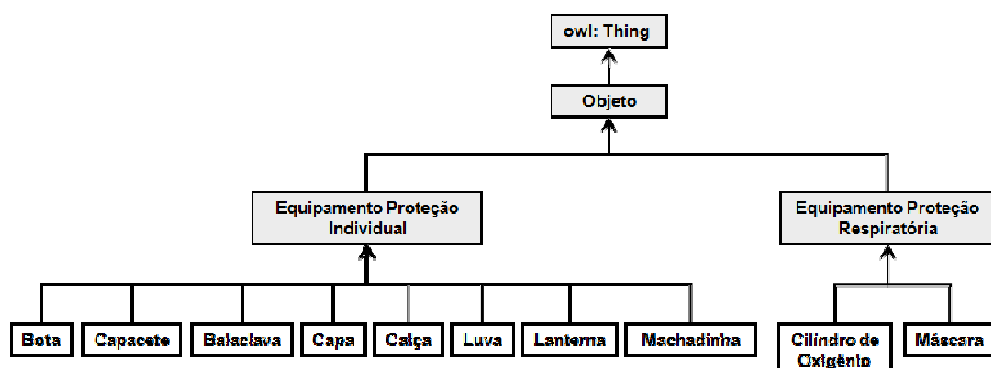


FIGURA 29. Visão geral da ontologia objeto.

O código completo em OWL da ontologia infra-estrutura está no Apêndice F.

5.5.4 Ontologia Emergência

A ontologia emergência define um conjunto de conceitos e propriedades referentes a situações de emergência para suportar a representação de conhecimento e inferências sobre incidentes e acidentes. Para definir um acidente, foram definidas falhas que ocorrem devido a três aspectos: **imperícia** (por exemplo, a pessoa não sabe pilotar um avião), **imprudência** (por exemplo, a pessoa sabe pilotar o avião, porém não teve devido cuidado no vôo) ou **negligência** (por exemplo, a pessoa não sabe pilotar um avião nem toma os devidos cuidados). Quando não há imperícia, imprudência ou negligência podem ocorrer incidentes. A somatória de incidentes pode gerar um acidente (por exemplo, mangueira do avião com vazamento levará à falta de combustível).

Neste primeiro momento foi desenvolvida a descrição de incêndio e explosão para a ontologia de emergência, conforme é mostrado na Figura 30.

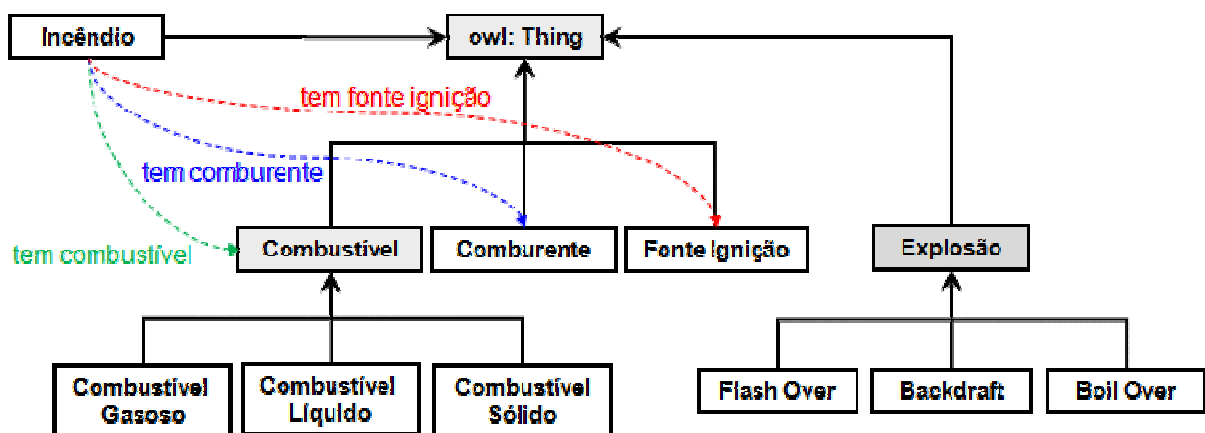


FIGURA 30. Visão geral da ontologia emergência.

A ontologia foi criada com os conceitos *Incendio*, *Combustivel*, *Comburente* e *Fontelgnicao*.

A classe *Incendio* contém as propriedades *tem Combustivel*, *tem Comburente*, *tem Fonte Ignicao*, e também outras propriedades importantes para decidir qual a melhor forma de extinção, como por exemplo, a fase do incêndio (que

pode ser fase inicial, queima lenta ou queima livre), a classificação da classe de incêndio (A, B, C ou D)⁴ e a forma de propagação do calor (condução⁵, convecção⁶ e irradiação⁷).

O conceito *Combustível* contém os subconceitos *Combustível Gasoso*, *Combustível Líquido* e *Combustível Sólido*, que são os três tipos de combustíveis. As propriedades do conceito *Combustível* são ponto de ponto de fulgor⁸ e ponto de ignição⁹.

Uma explosão é um fenômeno acompanhado de rápida expansão de um sistema de gases, seguida de uma rápida elevação na pressão; seu principal efeito é o desenvolvimento de uma onda de choque com ruído (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2005). Os três principais tipos de explosão, que foram descritos em nossa ontologia, são: *flash over*, *backdraft* e *boil over*.

Alguns conceitos e propriedades são apresentados na Tabela 5 para exemplificar a implementação da ocorrência de incêndio na ontologia emergência.

TABELA 5. Alguns conceitos e propriedades da ocorrência de incêndio da ontologia emergência.

| CONCEITOS | PROPRIEDADES |
|-----------------|---|
| ▼ Incêndio | conducao irradiacao convenccao classificação Incêndio (ClasseA – Sólidos Inflamáveis, ClasseB – Líquidos Inflamáveis, ClasseC – Equipamentos Energizados, ClasseD – Metais Pirofolicos) fase Fogo(Fase Inicial, Queima Lenta, Queima Livre) tem Combustível (Combustível) tem Comburente (Comburente) tem Fonte Ignição (Fonte Ignição) está Acontecendo Em (Lugar) |
| ▼ Comburente | |
| ▼ Fonte Ignição | |
| ▼ Combustível | ponto Ignicao ponto Fulgor |

⁴ **Classe A:** sólidos inflamáveis; **classe B:** líquidos inflamáveis; **classe C:** equipamentos energizados; e **classe D:** metais pirofolicos.

⁵ **Condução:** transferência de calor feita por um corpo sólido de molécula a molécula.

⁶ **Convecção:** transferência de calor pelo movimento ascendente de massas de gases ou de líquidos dentro de si próprios.

⁷ **Irradiação:** transmissão de calor por ondas de energia calorífica que se deslocam por meio do espaço.

⁸ **Ponto de fulgor:** elevação de temperatura devido ao aquecimento que acarreta liberação de vapores do material, os quais se incendiam se houver uma fonte externa de calor. Nesse ponto, as chamas não se mantêm devido à pequena quantidade de vapores.

⁹ **Ponto de ignição:** Temperatura na qual devido à continuidade no aquecimento do ponto de fulgor, atinge-se um ponto no qual o combustível, exposto ao ar, entra em combustão sem que haja fonte externa de calor.

| | |
|---------------------|--|
| Combustível Gasoso | limite Inferior Inflamabilidade limite Superior Inflamabilidade |
| Combustível Líquido | miscível Água (sim, não) |
| Combustível Sólido | |
| ▼ Explosão | |
| <i>Flash over</i> | |
| <i>Backdraft</i> | |
| <i>Boil over</i> | |

O código completo em OWL da ontologia infra-estrutura está no Apêndice G.

5.5.5 Ontologia Tática

A ontologia tática define um conjunto de conceitos e propriedades referentes a regras que a equipe de resgate tem que seguir. Um exemplo disso é o protocolo de operações de incêndio SICER, que são iniciais dos seguintes termos (Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, 2006b): **salvamento**: antes do início dos trabalhos é importante rastrear a área sinistrada para detectar a presença de vítimas; **isolamento**: após salvamento das vítimas, as áreas próximas ao foco de risco são isoladas para evitar propagação do incêndio; **Confinamento**: compreende o combate ao foco de incêndio propriamente dito; **Extinção**: com o decorrer das operações de combate, chega-se à extinção do foco de incêndio; **Rescaldo**: consiste na pesquisa de novos focos de incêndios que possam entrar em ignição (fagulhas);

O protocolo SICER possui dois tópicos complementares: **ventilação**¹⁰, (que pode ser feita em qualquer etapa do protocolo); **proteção de salvados**¹¹(geralmente feita após o rescaldo).

A Figura 31 apresenta a visão geral da ontologia tática.

¹⁰ **Ventilação**: São manobras para liberar a fumaça proveniente do incêndio.

¹¹ **Proteção de salvados**: Após liberar a fumaça do local, são necessárias a limpeza e proteção dos itens que não foram atingidos pelo fogo, além da organização do local sinistrado.

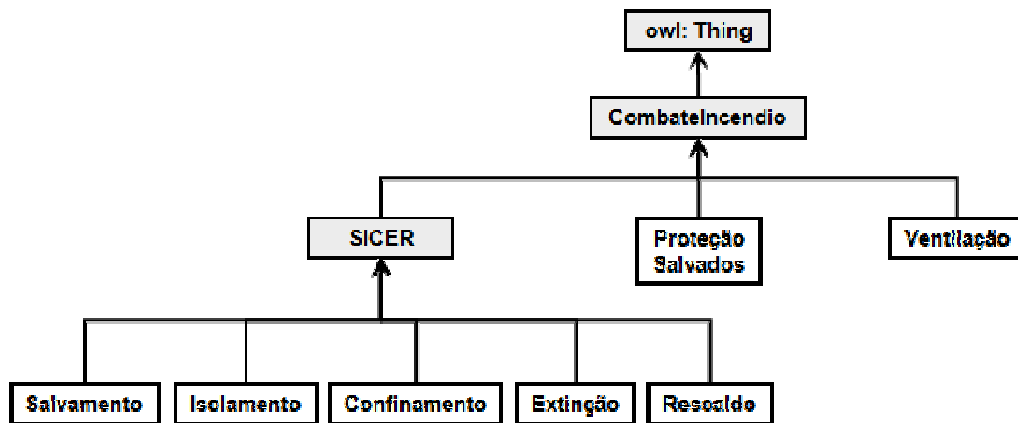


FIGURA 31. Visão geral da ontologia tática.

O código completo em OWL da ontologia infra-estrutura está no Apêndice H.

O serviço de consulta às ontologias foi implementado utilizando o *framework* para Web Semântica Jena2 (Jena, 2008). Para as consultas foi utilizada a linguagem RDF *Data Query Language* (RDQL), uma das línguas de consulta utilizada por Jena2.

5.6 Descrição das Regras *Fuzzy* no contexto de emergência

As ontologias propostas no trabalho fornecem uma base de conhecimento aos palcos emergenciais, mas não tratam de algumas transições entre as etapas, por exemplo, as encontradas num incêndio. Para tratar dessas áreas de transições foi utilizada a lógica *fuzzy* que permite resultados satisfatórios para tomadas decisórias.

Na lógica nebulosa (*fuzzy*), os conjuntos *fuzzy* permitem representar e manipular dados que não são precisos e expressos em variáveis lingüísticas, na forma de termos de conceitos qualitativos em vez de quantitativos (Wilson; Keil, 1999).

Neste trabalho as fases do incêndio foram mapeadas em conjuntos e regras *fuzzy*. Assim é possível consultar qual o grau de pertinência das fases do incêndio e a possibilidade de risco de explosão, a partir da entrada de informações de temperatura, quantidade de oxigênio e quantidade de fumaça presente no local da ocorrência do acidente. Na Figura 32 é mostrado o gráfico das fases do incêndio

mapeado com resultados baseados na quantidade de oxigênio, temperatura e fumaça.

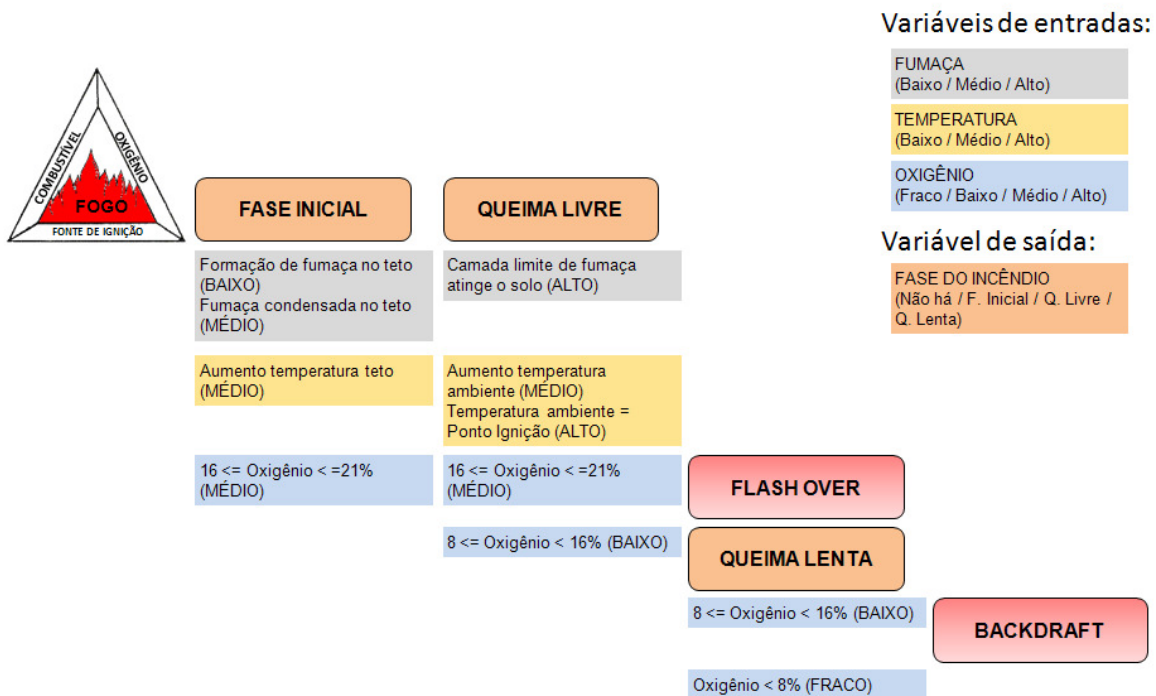


FIGURA 32. Gráfico das fases do incêndio.

Na Figura 33 são mostradas dezesseis regras com as combinações de três variáveis de entrada (oxigênio, temperatura e fumaça), quatro termos lingüísticos para oxigênio (fraco, baixo, médio e alto), três termos lingüísticos para temperatura (baixo, médio e alto), três termos lingüísticos para fumaça (baixo, médio e alto) e quatro termos lingüísticos para a variável de saída (não há fogo, queima lenta, fase inicial e queima livre).

A regra número 1, por exemplo, é lida da seguinte forma:

SE oxigênio = fraco **E** temperatura = baixo **E** fumaça = baixo

ENTÃO fase do incêndio = não há fogo

| | OXIGÊNIO (Fraco / Baixo / Médio / Alto) | TEMPERATURA (Baixo / Médio / Alto) | FUMAÇA (Baixo / Médio / Alto) | FASE DO INCÊNDIO (Não há / F. Inicial / Q. Livre / Q. Lenta) |
|----|--|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| 1 | FRACO | BAIXO | BAIXO | NAO HA FOGO |
| 2 | FRACO | BAIXO | MEDIO | NAO HA FOGO |
| 3 | FRACO | BAIXO | ALTO | NAO HA FOGO |
| 4 | FRACO | MEDIO | BAIXO | NAO HA FOGO |
| 5 | FRACO | MEDIO | MEDIO | NAO HA FOGO |
| 6 | FRACO | MEDIO | ALTO | NAO HA FOGO |
| 7 | FRACO | ALTO | BAIXO | NAO HA FOGO |
| 8 | FRACO | ALTO | MEDIO | NAO HA FOGO |
| 9 | FRACO | ALTO | ALTO | NAO HA FOGO |
| 10 | BAIXO | MEDIO | ALTO | QUEIMA LENTA |
| 11 | BAIXO | ALTO | ALTO | QUEIMA LENTA |
| 12 | MEDIO | MEDIO | BAIXO | FASE INICIAL |
| 13 | MEDIO | MEDIO | MEDIO | FASE INICIAL |
| 14 | MEDIO | MEDIO | ALTO | QUEIMA LIVRE |
| 15 | MEDIO | ALTO | MEDIO | QUEIMA LIVRE |
| 16 | MEDIO | ALTO | ALTO | QUEIMA LIVRE |

FIGURA 33. Regras para a fase do incêndio.

Na Figura 34 é mostrada a função de pertinência da quantidade de oxigênio no incêndio, que indica as porcentagens para extinção do fogo, explosões por *backdraft* e *flash over*, além da potencialização das chamas pelo excesso de oxigênio (agente comburente).

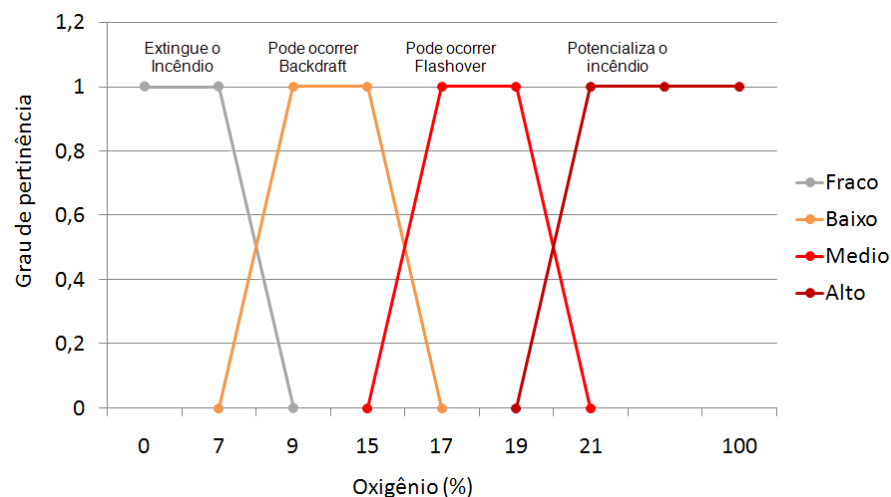


FIGURA 34. Função de pertinência do oxigênio em um incêndio.

Na Figura 35 é mostrada a função de pertinência da temperatura. Nele estão indicados os pontos de fulgor e ignição da madeira, escolhido como tipo de combustível de risco predominante presente na edificação devido estoque dos produtos (sólido inflamável).

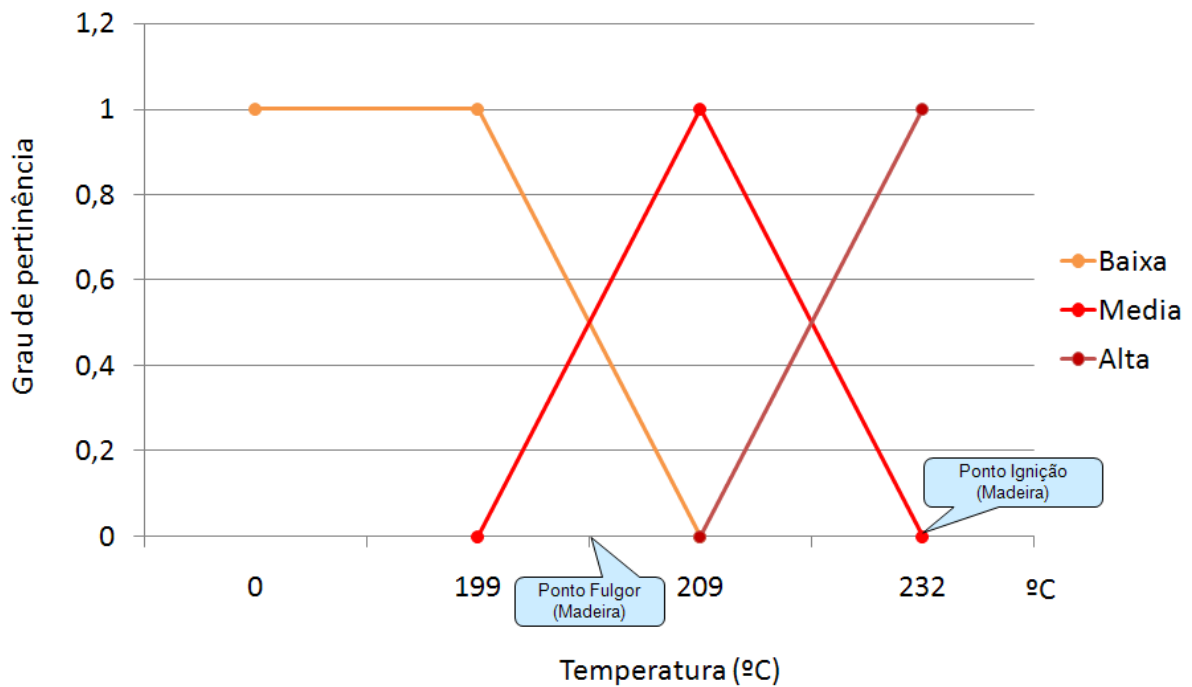


FIGURA 35. Função de pertinência da temperatura em um incêndio.

Na Figura 36 é mostrada a função de pertinência de presença de fumaça no teto. Essa característica tem influência direta no aumento de temperatura.

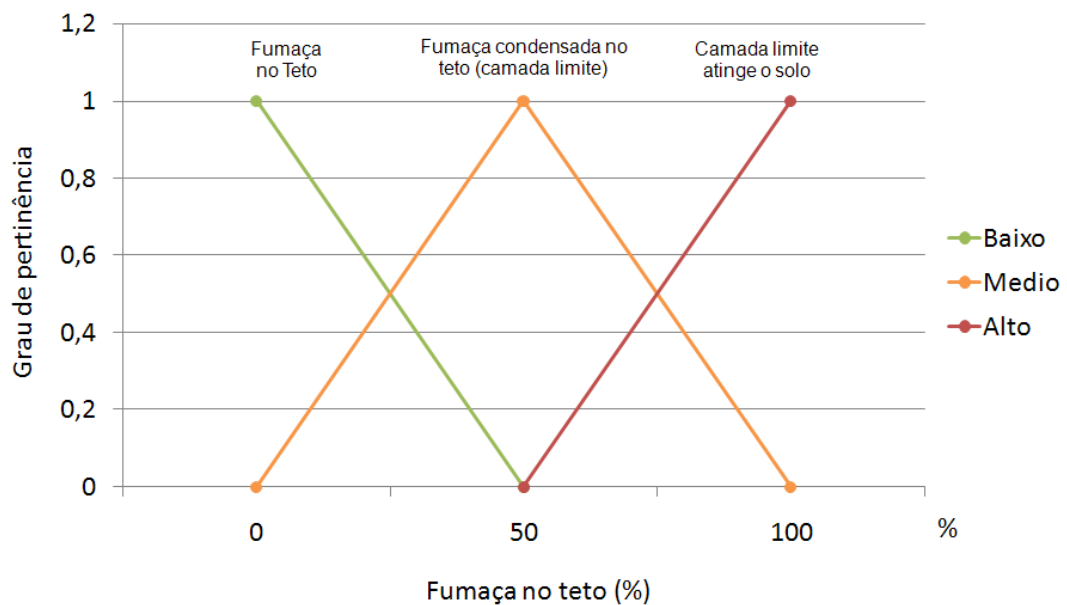


FIGURA 36. Função de pertinência de fumaça presente no teto em um lugar com incêndio.

Na Figura 37 é mostrada a função de pertinência de todas as fases do incêndio.

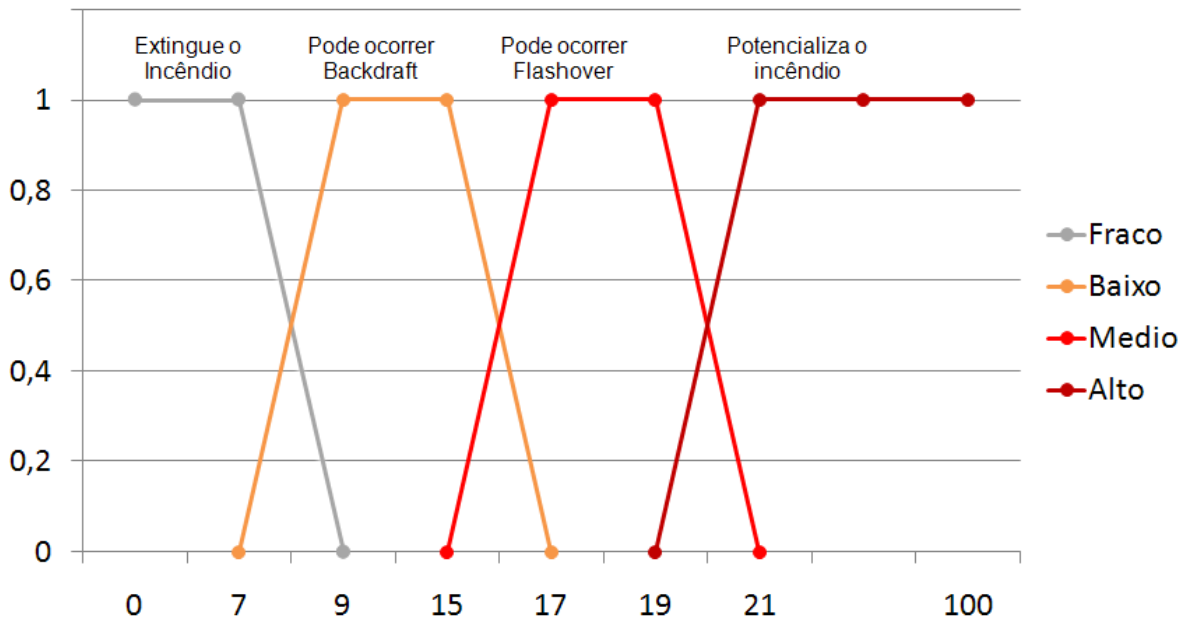


FIGURA 37. Função de pertinência das fases do incêndio.

Na Figura 38 é mostrado o gráfico da explosão por *Boil Over* na máquina de fritar batatas.

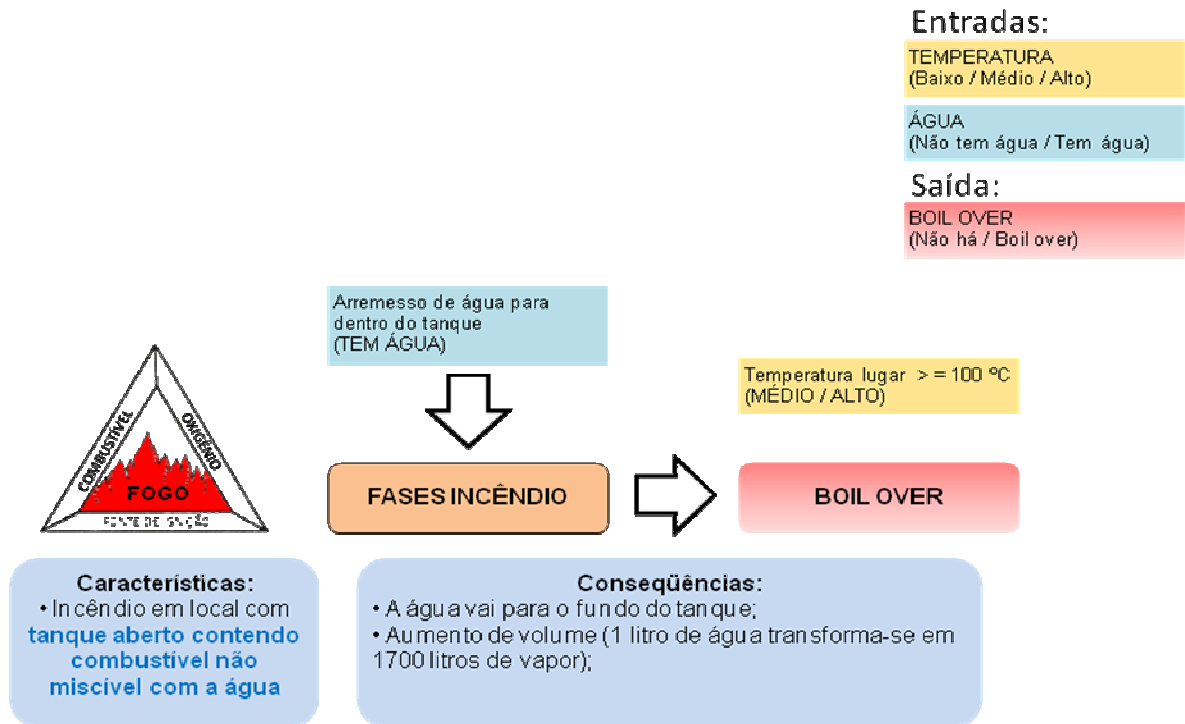


FIGURA 38. Gráfico da explosão por *boil over*.

Na Figura 39 é mostrado o mapeamento das regras para que ocorra *boil over*. As combinações indicam duas situações cuja somatória das variáveis de entrada (temperatura e água) resultam na explosão por *boil over* (variável de saída).

| | TEMPERATURA (Baixo / Médio / Alto) | ÁGUA (Não tem água / Tem água) | BOIL OVER (Não há / Boil over) |
|---|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | BAIXO | NÃO TEM ÁGUA | NAO HA BOIL OVER |
| 2 | BAIXO | TEM ÁGUA | NÃO HA BOIL OVER |
| 3 | MÉDIO | NÃO TEM ÁGUA | NÃO HA BOIL OVER |
| 4 | MÉDIO | TEM ÁGUA | BOIL OVER |
| 5 | ALTO | NÃO TEM ÁGUA | NÃO HA BOIL OVER |
| 6 | ALTO | TEM ÁGUA | BOIL OVER |

FIGURA 39. Regras para o *boil over*.

Na Figura 40 é mostrada a função de pertinência para a temperatura do tanque. Há indicação do ponto de ebulição da água que acarreta bolhas que ao subirem até a superfície do tanque espalham óleo quente em volta com grave risco de acidente (*boil over*).

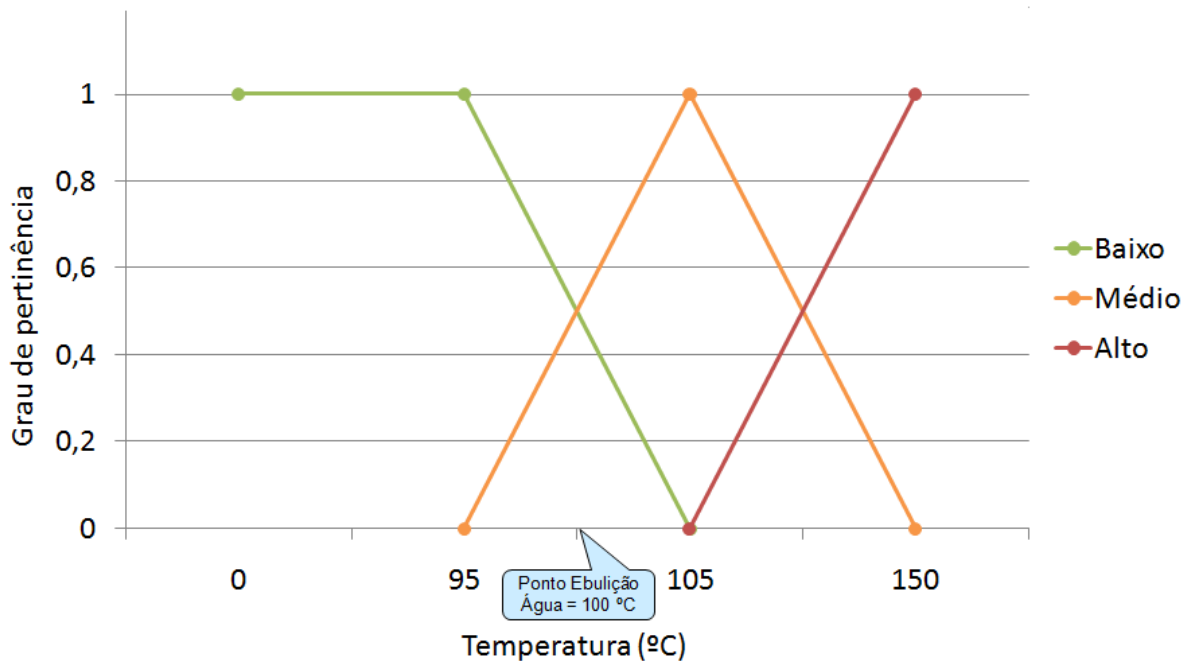


FIGURA 40. Função de pertinência da temperatura no tanque.

Na Figura 41 é mostrada a função de pertinência da presença de água em um tanque contendo combustível líquido não miscível em água. Esta condição do combustível tem relação direta na formação de bolhas de água com o aumento de temperatura do tanque.

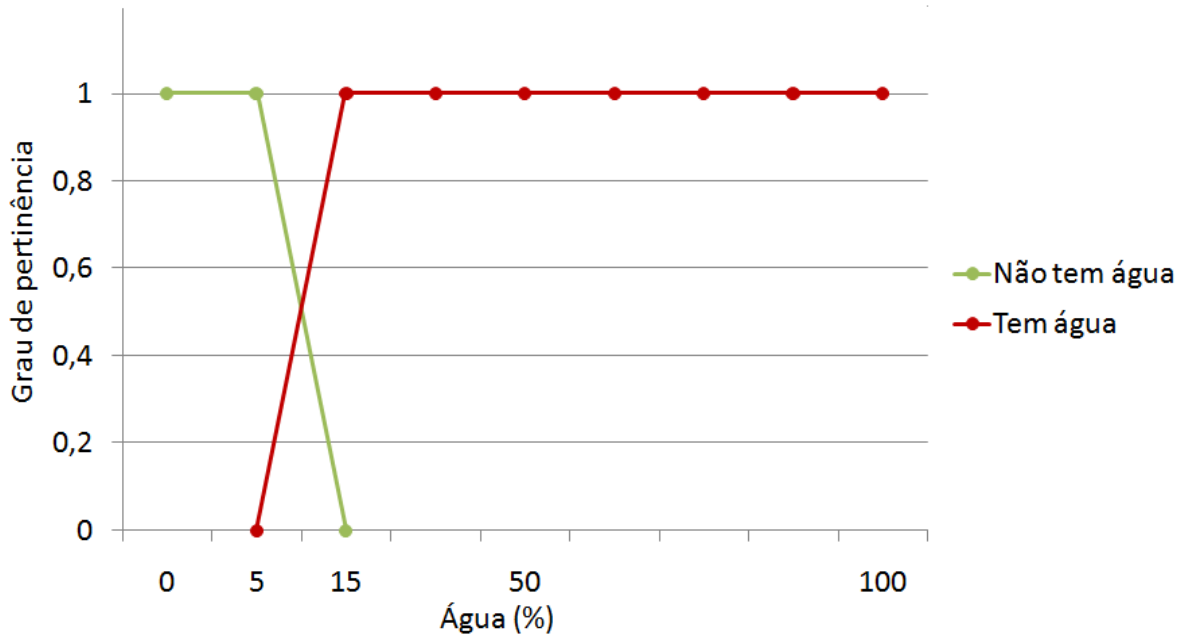


FIGURA 41. Função de pertinência da presença de água em um tanque.

Na Figura 42 é mostrada a função de pertinência referente ao conjunto de saída da explosão por *boil over*.

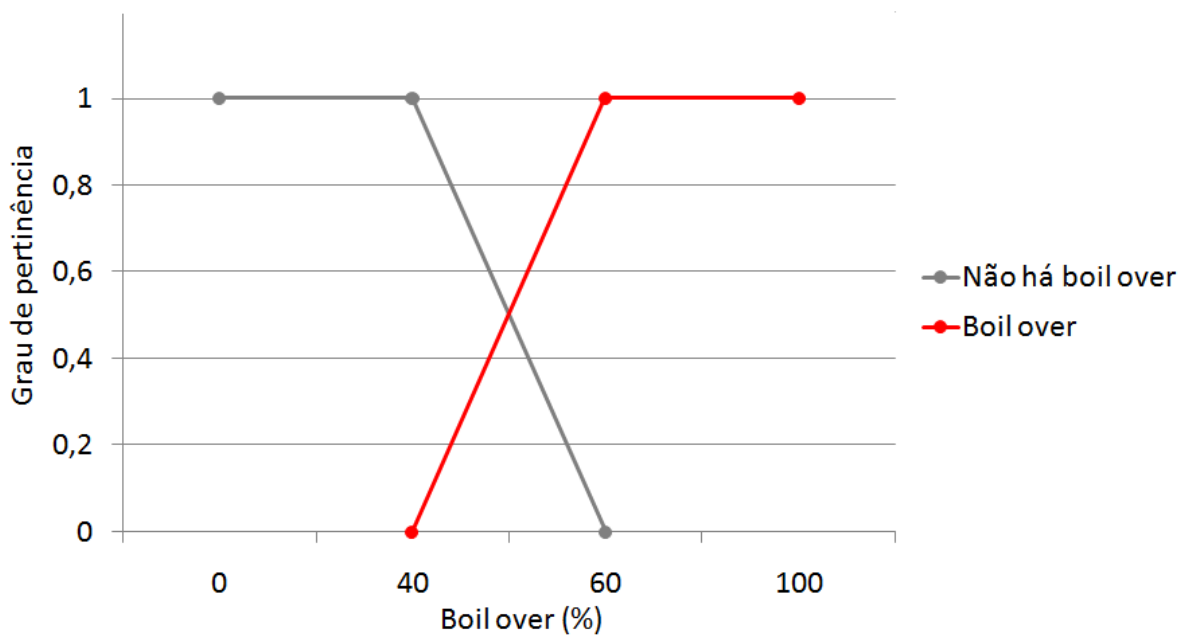


FIGURA 42. Função de pertinência de *boil over*.

As Regras *Fuzzy* e suas inferências foram implementadas com uso de fuzzyJToolkit (FuzzyJ, 2006). Na próxima seção é descrita a prova de conceito referente a uma planta industrial do município de São Carlos, bem como o serviço de interpretação de contexto sendo usado para um possível acidente envolvendo incêndio.

5.7 Aquisição de dados

Os nós sensores espalhados em um ambiente físico a ser monitorado coletam dados sobre eventos, tais como, aumento de temperatura, presença de oxigênio, presença de fumaça e enviam ao nó sorvedouro da RSSF. Etiquetas RFIDs que contém informações estáticas sobre o ambiente também são lidas por leitores ligados ao nó sorvedouro. Esses dados coletados são agregados e enviados ao sistema de interpretação de contexto (SIC). O tipo de interpretação que será feito pelo SIC depende de qual conjunto de dados agregados chegar (Sistema de Consulta à Ontologia (SCO) ou Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF)). Foram implementado três tipos de interpretação de contexto: informações sobre o risco vizinho de um local; probabilidade de ocorrer boil over; e informações sobre se há um incêndio, qual a sua fase e a probabilidade de ocorrer as explosões flash over e backdraft. O diagrama de seqüência referente ao risco vizinho é indicado na Figura 43.

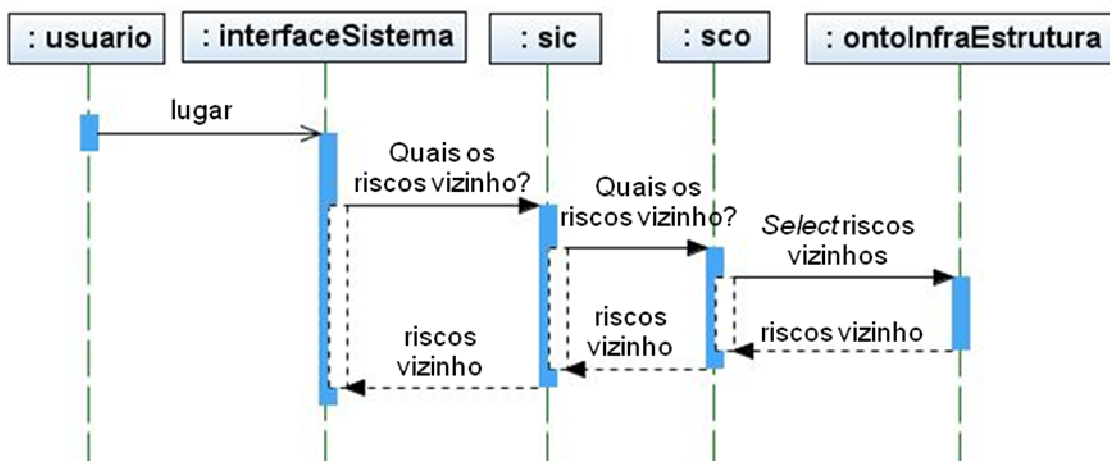


FIGURA 43. Diagrama de seqüência do risco vizinho.

Para a interpretação de risco vizinho somente é necessário a informação de qual local da indústria que teve a ocorrência do acidente, sendo que os dados da indústria devem estar descritos na ontologia infra-estrutura.

Para a interpretação de *boil over* e fase do incêndio, as informações sobre todos os materiais contidos na indústria devem estar descritos na ontologia emergência, isto é, ponto de ignição, ponto de fulgor, se é miscível com água, se é combústivel, entre outras características presentes nessa ontologia. Na interpretação sobre *boil over* é necessário os dados de um tanque de combustível: material presente, temperatura e porcentagem de água presente. Na interpretação da fase de incêndio é necessário os valores da temperatura, fumaça e oxigênio de um determinado local, bem como qual material que está presente ali. O diagrama de seqüência referente aos dados para o tanque de combustível é apresentado na Figura 44 e o diagrama de seqüência referente às fases do incêndio é descrito na Figura 45.

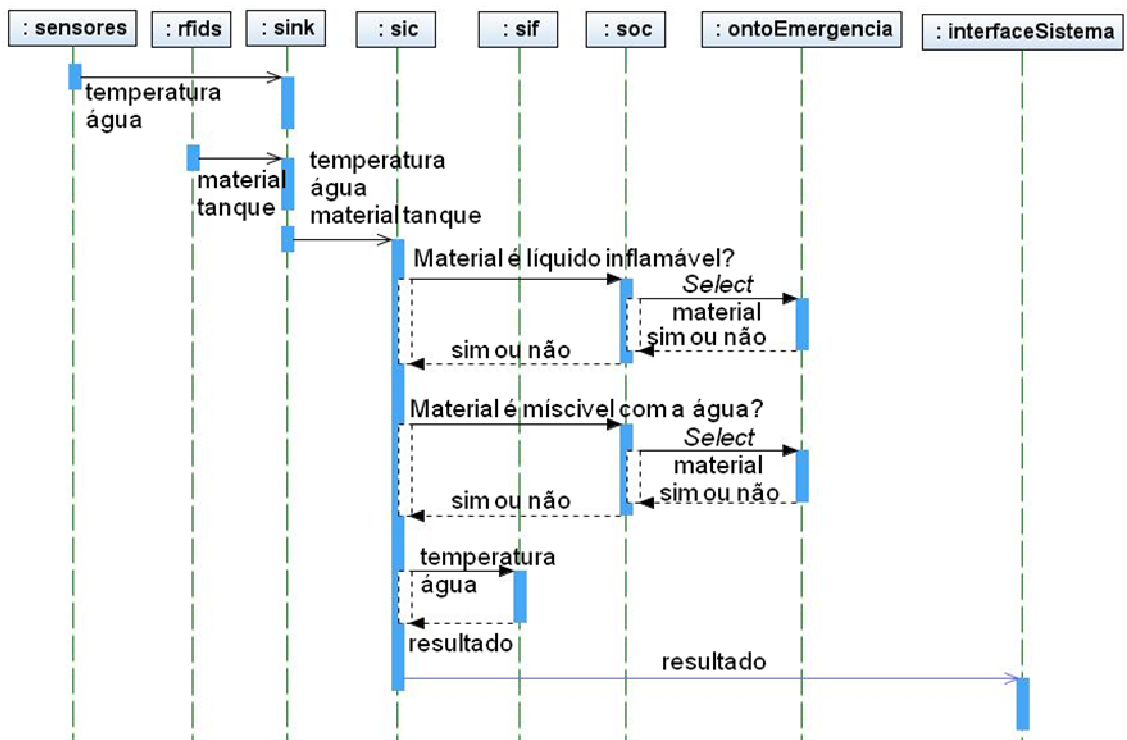


FIGURA 44. Diagrama de seqüência dos dados para o tanque.

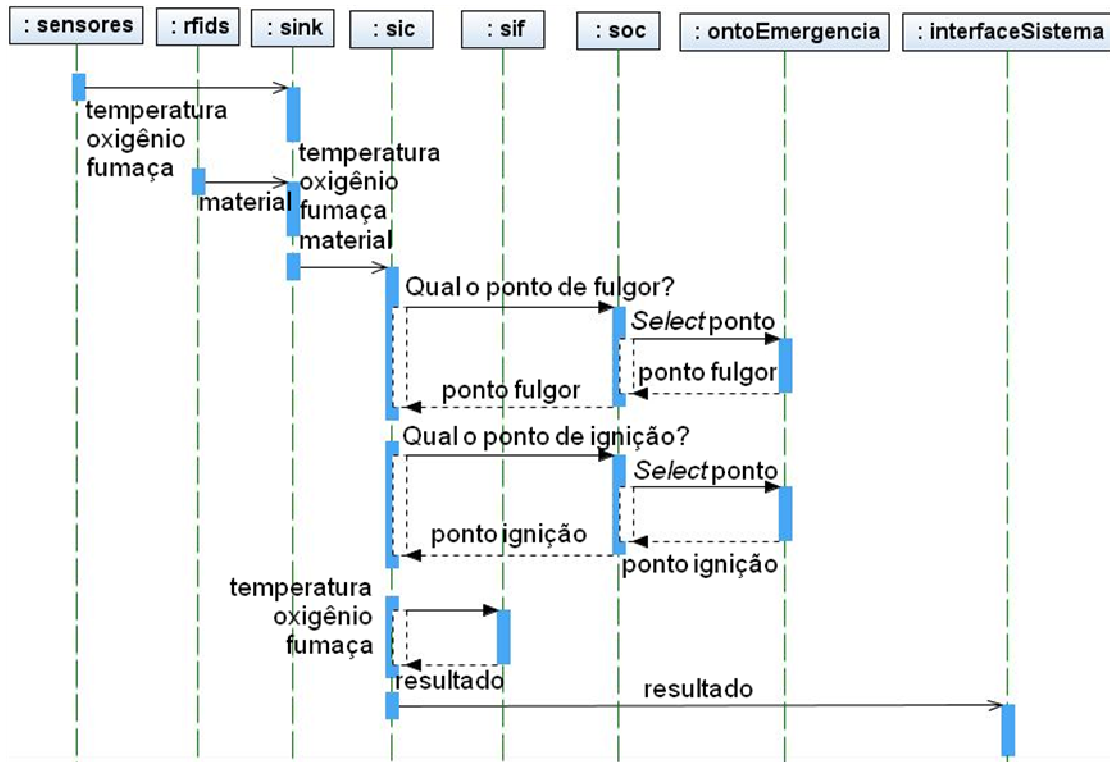


FIGURA 45. Diagrama de seqüência das fases do incêndio.

5.8 Validação do serviço de interpretação de contexto – Prova de conceito: Indústria de Batata Frita

Para validar o serviço de interpretação de contexto, foi utilizada uma indústria de batata frita, devido ao elevado potencial de acidentes por incêndio, conforme é mostrado na Figura 46.

A ontologia Infra-Estrutura foi instanciada com as informações desta planta industrial.

Na ontologia Emergência, foi instanciada uma situação de incêndio, tendo como origem um curto-circuito no picador de batatas (equipamento elétrico). O triângulo do fogo é gerado pela combinação: caixas de papelão (combustível sólido) próximas ao picador de batatas, oxigênio (comburente) e curto-circuito (fonte de ignição).

Como se pode ver na Figura 46, há duas áreas. A produção 1 é o local em que aconteceu o incêndio, e por ser em caixas de papelão é um incêndio de classe A (sólidos inflamáveis). Assim, permite que o ataque seja feito com o agente

extintor água. Mas, no barracão da produção há um risco vizinho, pois é local para frituras de batatas (tanques com líquido inflamável não miscível com a água), que é de classe B (líquidos inflamáveis). Caso a água atinja o líquido inflamável e vá para o fundo destes tanques pode ocorrer uma explosão por *boil over*. Nesse caso a possibilidade do mapeamento do risco vizinho (barracão da produção) é de maior preocupação do que o risco principal (produção 1).

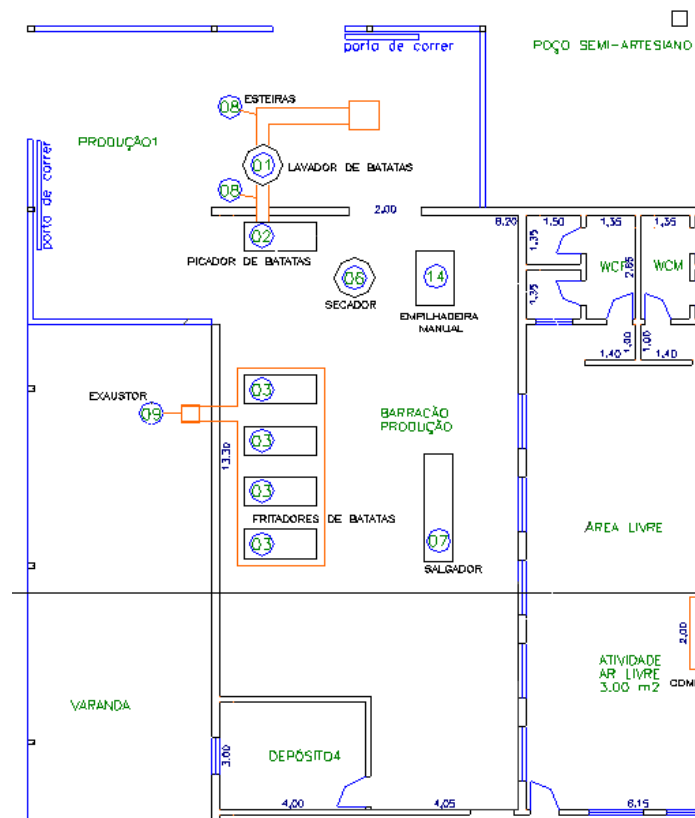


FIGURA 46. Planta industrial de produção de batatas fritas.

É possível consultar a ocorrência de riscos vizinhos na ontologia Infra-estrutura, como por exemplo, ao da PRODUÇÃO 1 que pode ser vista no exemplo a seguir.

Risco Vizinho de Producao1: Varanda; AreaLivre; Recepcao; WCF; Deposito4;

Com as entradas de valores para oxigênio, temperatura e fumaça (vindos de sensores), o local e o tipo de combustível presente (vindo de etiquetas RFID), o sistema de consultas às ontologias faz uma busca pelo ponto de ebulição e o ponto de ignição na ontologia da emergência. Todas estas informações são

enviadas como dados de entrada para o sistema de inferência *fuzzy*. O Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) processa essas informações e fornece o resultado. Alguns exemplos de valores para essa consulta pode ser visto no exemplo a seguir.

DADOS DE ENTRADA:

Combustível: Madeira
 Oxigênio: 17.0 % do ar
 Temperatura: 200.0 °C
 Fumaça: 30.0 % do lugar

SAÍDA:

Fase do incêndio: **Fase inicial = 99 %**

DADOS DE ENTRADA:

Combustível: Madeira
 Oxigênio: 16.0 % do ar
 Temperatura: 210.0 °C
 Fumaça: 70.0 % do lugar

SAÍDA:

Fase do incêndio: **Transição da fase inicial para queima livre = 40 %**

DADOS DE ENTRADA:

Combustível: Madeira
 Oxigênio: 18.0 % do ar
 Temperatura: 220.0 °C
 Fumaça: 99.0 % do lugar

SAÍDA:

Fase do incêndio: **Transição da fase inicial para queima livre = 97 % (flash over)**

DADOS DE ENTRADA:

Combustível: Madeira
 Oxigênio: 10.0 % do ar
 Temperatura: 200.0 °C
 Fumaça: 80.0 % do lugar

SAÍDA:

Fase do incêndio: **Transição da queima livre para queima lenta = 53 %**

Obs.: Abertura brusca de portas ou janelas provoca entrada de ar e possibilidade de explosão por *back draft*

DADOS DE ENTRADA:

Combustível: Madeira
 Oxigênio: 17.0 % do ar
 Temperatura: 200.0 °C
 Fumaça: 30.0 % do lugar

SAÍDA:

Fase do incêndio: **Fase inicial = 99 %**

DADOS DE ENTRADA:

Combustível: Madeira
Oxigênio: 7.0 % do ar
Temperatura: 180.0 °C
Fumaça: 20.0 % do lugar
SAÍDA:

Fase do incêndio: **Transição entre não há fogo e fase inicial = 34 %**

DADOS DE ENTRADA:

Tipo de líquido do tanque: Óleo
Temperatura do tanque: 100.0 °C
Nível de água: 8.0 %
SAÍDA:

Boil over: 5%

DADOS DE ENTRADA:

Tipo de líquido do tanque: Oleo
Temperatura do tanque: 100.0 °C
Nível de água: 50.0 %
SAÍDA:

Boil over: 50%

DADOS DE ENTRADA:

Tipo de líquido do tanque: Óleo
Temperatura do tanque: 110.0 °C
Nível de água: 50.0 %
SAÍDA:

Boil over: 100%

O serviço de interpretação de contexto pode consultar riscos vizinhos a exemplo dos perigos próximos à área 01. Uma aplicação Java foi desenvolvida com uma interface gráfica simples, apenas para validar os resultados obtidos na interpretação de contexto. Na Figura 47 é mostrada uma interface como exemplo da forma como os resultados podem ser apresentados aos usuários.

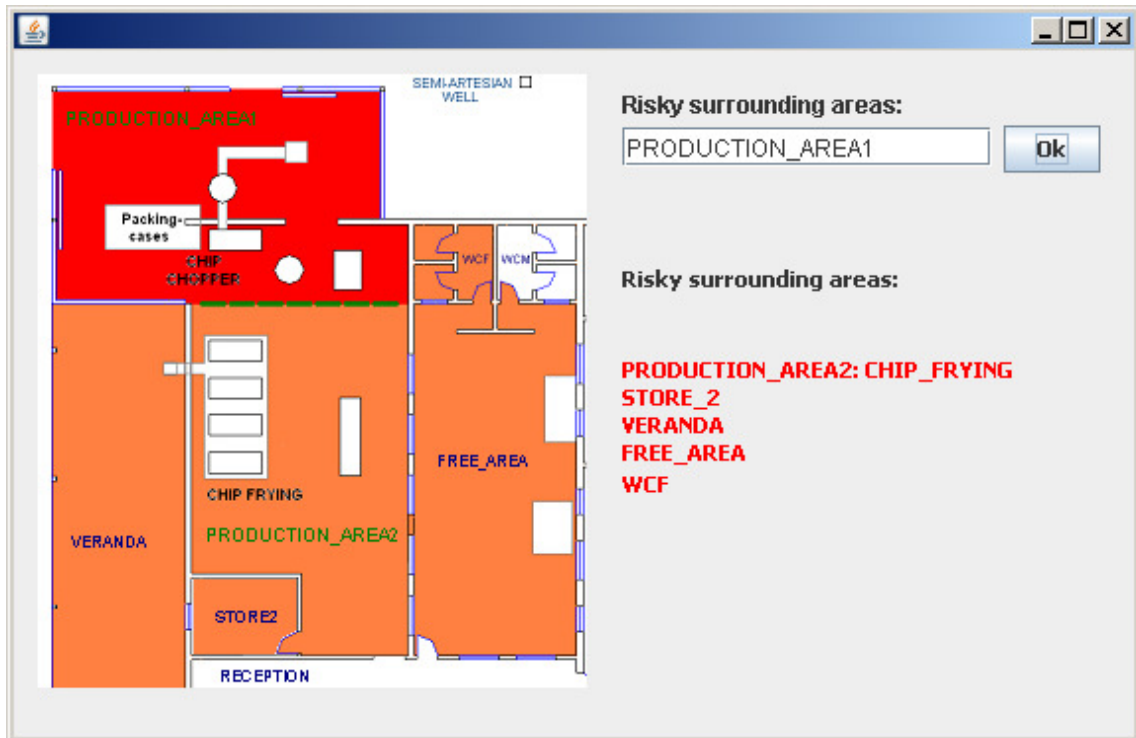


FIGURA 47 – Interface gráfica simples para verificação de riscos vizinhos.

O fenômeno de *Boil Over* é mostrado como um exemplo na Figura 48. Os resultados mostrados na Figura 47 e Figura 48 são exemplos de perguntas feitas ao interpretador de contexto.

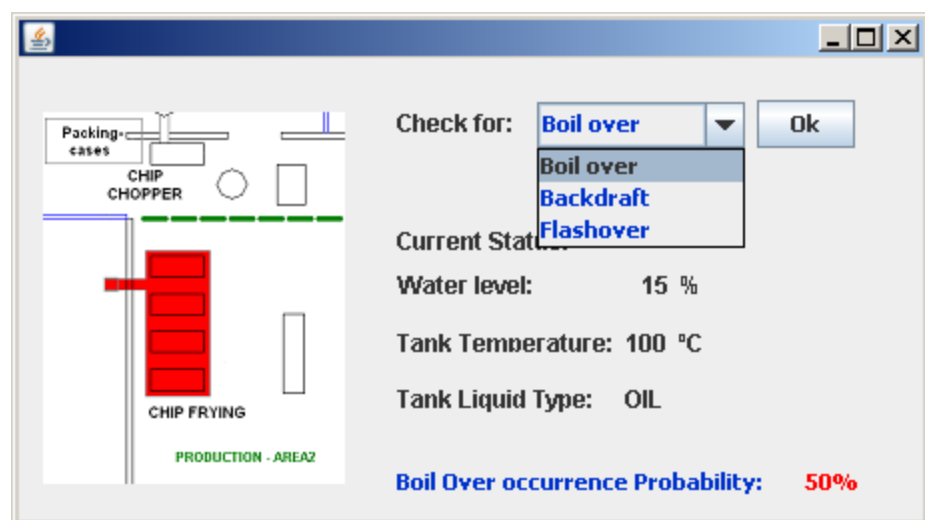


FIGURA 48 – Interface gráfica simples para verificar se há *boil over*.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi projetada, implementada e validada uma ferramenta de apoio aos profissionais de emergência baseada na integração de ontologias e regras *fuzzy*. Para isso foram geradas cinco ontologias para as quais foram utilizadas normas de proteção contra incêndios vigentes no Estado de São Paulo, além de informações fornecidas por profissionais especialistas em segurança. As ontologias foram implementadas e integradas às regras *fuzzy*. Um caso de uso foi implementado para validação do serviço de interpretação criado como parte deste trabalho em situações de incêndio, explosões de *back-draft* e *boil-over*, três fenômenos que ainda hoje comprometem a vida de muitos profissionais da área de segurança e também o cidadão comum.

6.1 Contribuições geradas

A especificação e implementação de um serviço de interpretação de contexto que integra técnicas de inteligência artificial e ontologias em apoio à preparação e resposta a emergências geraram contribuições relevantes para a continuidade dos trabalhos no LRVNet, na medida em que se constituem na base de conhecimentos que apóia a interpretação dos dados vindos dos sensores.

Em relação aos profissionais especialistas que colaboraram na pesquisa, o trabalho conseguiu resultados que foram checados e aprovados pelos profissionais.

Em relação às empresas, também foi verificado um interesse na aplicação de trabalhos acadêmicos dessa natureza, que podem ser utilizados em treinamentos de brigadas e exercícios de simulação, tópicos obrigatórios na legislação do Estado de São Paulo, por exigência do Decreto Estadual 46076/01 (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2005).

6.2 Artigos publicados

ARAUJO, R. B.; BOUKERCHE, A.; ROCHA, R. V.; CAMPOS, M. R. **Solução baseada em Ontologias para o monitoramento e simulação de situações de emergência.** In: the 6th International Information and Telecommunication Technologies Symposium, 2007, Brasília. the 6th International Information and Telecommunication Technologies Symposium, 2007.

ARAUJO, R. B.; ROCHA, R. V.; CAMPOS, M. R.; BOUKERCHE, A. **Creating Emergency Management Training Simulations through Ontologies Integration.** In: The 2008 Workshop on Advanced Computing for Critical Systems and EMergency Preparedness and Response - Co-located with IEEE 11th International Conference on Computational Science and Engineering, 2008, São Paulo. Proceedings of the IEEE 11th International Conference on Computational Engineering (CSE-2008), 2008.

ARAUJO, R. B.; ROCHA, R. V.; CAMPOS, M. R.; BOUKERCHE, A. **Um Serviço de Interpretação de Contexto para Redes de Sensores Sem Fio no Domínio do Gerenciamento da Emergência.** In: II Workshop on Pervasive and Ubiquitous Computing - WPUC (Evento paralelo ao SBAC-PAD), 2008, Campo Grande. Anais do II Workshop on Pervasive and Ubiquitous Computing - WPUC, 2008.

6.3 Trabalhos futuros

O serviço de interpretação de contexto integrou técnicas de inteligência artificial e ontologias. Para abordar a interpretação a partir de dados estatísticos, e considerando a evolução do *Middleware* de serviços ao qual está inserida a base de conhecimento, o trabalho deverá incorporar técnicas relacionadas a inferências bayesianas, além de bases de informação.

Quando os outros trabalhos do laboratório forem finalizados e juntados na continuidade desta dissertação, o caminho rumo à qualidade ao apoio decisório em situações emergenciais contribuirá ainda mais para o salvamento de vidas e patrimônio, além da possível utilização em ambientes de treinamento virtual.

6.4 Conclusões finais

Sistemas críticos apresentam circunstâncias dependentes de tempo-resposta para completo sucesso das operações de salvamento. Além dessas condições, palcos de operações para atuação em situações de emergência compreendem conhecimentos multidisciplinares que implicam em dificuldades em tomadas decisórias.

A representação de conhecimento utilizando ontologias integradas a lógica *fuzzy*, para interpretação de contextos em redes de sensores e atuadores sem fio, é uma solução em potencial para a supervisão e controle de ambientes físicos sujeitos a situações emergenciais.

Sistemas que potencializam a tomada de decisões não evitarão a incidência de futuros acidentes, mas podem amenizar e fornecer qualidade às pessoas, equipamentos ou edificações que necessitam do devido e necessário resguardo.

7 REFERÊNCIAS

AILISTO, H. et al. Structuring Context Aware Applications: five-layer model and example case, vol. 0.11, **In: Proceedings of the Workshop on Concepts and Models for Ubiquitous Computing**, Goteborg, Sweden, 2002, p. 1-5.

ARAÚJO, R.B.; VILLAS, L. A.; RIBEIRO, J. E. **MidSensorNet**: a service middleware to emergency management. São Carlos, 2008. Relatório Técnico Interno.

BALDAUF, M.; DUSTDAR, S. ROSENBERG. F. A survey on context-aware systems. **International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing**, Geneva, Switzerland, v. 2, n. 4, p. 263-277, 2007.

BECHHOFER, S. et al. 2004. **OWL Web Ontology Language Reference**. Disponível em: <[http://www.w3.org/TR/2004/ REC-owl-ref-20040210/](http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/)>. Acesso em: fev. 2008.

BNJ. 2004. **Bayesian Network tools in Java**. 2004. Disponível em: <<http://bnj.sourceforge.net/>>. Acesso em: mar. 2008.

BONISSONE, P. Plausible Reasoning. **In: Shapiro, S. C.; Eckroth, D.; Valassi, G. A. (Ed.) Encyclopedia of Artificial Intelligence**. New York, 1991. pgs. 854-863.

BOUKERCHE, A.; LOPES, A.; ARAUJO, R. B. A Capture and Access Mechanism For Accurate Recording and Playing Of 3D Virtual Environment Simulations. **In: 10th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT 2006)**, Torremolinos - Málaga. Proceedings of the 10th IEEE/ACM DS-RT 2006, v. 10. 2006.

BROWN, A. E. P. **Análise de Risco**. Boletim Técnico do GSI, São Paulo, SP, n. 01, NUTAU, USP, Ano III, 1998.

CALVI, C. Z. **Uma Plataforma de Suporte a Aplicações Móveis Sensíveis ao Contexto**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2006.

CARDOSO, J. The Semantic Web Vision: where are we? **IEEE Intelligent Systems**, v. 22, n. 5, p. 84-88, 2007.

CHEN, H.; FININ, T.; JOSHI, A. An Ontology for Context-Aware Pervasive Computing Environments. **In: Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems**, volume 18, issue 3, Set 2003, New York, NY, USA, Journal The Knowledge Engineering Review, p. 197–207.

CHEN, M.; GONZALEZ S.; LEUNG, V.C.M. Applications and Design Issues for Mobile Agents in Wireless Sensor Networks. **Wireless communications, IEEE**, Vancouver , vol. 14 Issue:6, , p. 20-26, 2007.

COOPER, G. F. The Computational Complexity of Probabilistic Inference using Bayesian Belief Networks. *AI journal*, vol.42, pp. 393-405, October, 1990.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto Estadual 46.076/01 – Regulamento de Segurança Contra Incêndio das Edificações e Áreas de Risco**: conjunto de normas utilizadas no Estado de São Paulo sobre regularização de edificações. São Paulo: Corpo de Bombeiros, 2005. 44 p.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Fundamentos do Corpo de Bombeiros**: coletânea de manuais técnicos de bombeiros, 2ª Ed., São Paulo, SP, 2006a.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Estratégia e Tática de Combate a Incêndio**: coletânea de manuais técnicos de bombeiros, v. 32, São Paulo, SP, 2006b.

COX, E. **Fuzzy Logic for Business and Industry**. Massachusetts: Charles River Media Inc, 1995.

DEMPSTER, A. P. Upper and Lower Probability Inferences Based on a Sample from a Finite Univariate Population. *Biometrika*, vol. 54, n. 3, 4, p. 515-528, 1967a.

DEMPSTER, A. P. Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping. **Annals Mathematics Statistics**, Vol.: 38, Issue: 2, ISSN: 00034851, p. 325-339, 1967.

DEY. A. K. **Understanding and Using Context**. *Journal Personal and Ubiquitous Computing*, Londres, Reino Unido, 2001, vol. 5, Issue 1.

DEY, A.K.; ABOWD, G.D. Towards a better understanding of context and context-awareness. **In.: Proceedings of the Workshop on the What, Who, Where, When and How of Context-Awareness**, n. 10.1007/s007790170019, fev. 2001, Springer-Verlag London, UK, ACM Press, 2000.

DEY, A.K.; ABOWD, G.D.; SALBER. D. A Context-Based Infrastructure for Smart Environments. **In: Proceedings of the 1st International Workshop on Managing Interactions in Smart Environments**, Dublin, Ireland, 1999, Proceedings of the 1st International Workshop on Managing Interactions in Smart Environments MANSE'99, Citeseer, 1999, pgs.: 1-15.

DOW CHEMICAL COMPANY. **Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide**. 6th ed. New York: American Institute of Chemical Engineers, 1987.

DURKIN, J. **Expert Systems: design and development**. New York: Macmillan Publishing Company, 1994.

FAHY, P.; CLARKE. S. CASS: A Middleware For Mobile Context-Aware Applications. **In: Proceedings of the Workshop on Context Awareness (MobiSys 2004)**, ISBN:1-58113-981-0, 2004, Proceedings of the 3rd international conference on Mobile and ubiquitous multimedia.

FARIA, C. U. et al. Inferência Bayesiana e Sua Aplicação Na Avaliação Genética De Bovinos Da Raça Nelore: revisão bibliográfica. *Ciência Animal Brasileira*, v. 8, n. 1, p. 75-86, jan./mar, 2007.

FEMA. **Federal Emergency Management Agency**. 2009. Disponível em: <<http://government.lawyers.com/What-is-FEMA.html>>. Acesso em: mai. 2009.

FILATRO, A. **Design Instrucional Contextualizado: educação e tecnologia**. São Paulo: Editora Senac, 2004. 215 p.

FUZZYJ, **NRC FuzzyJ Toolkit for the Java™ Platform – User's Guide**. 2006. Disponível em: < http://www.iit.nrc.ca/IR_public/fuzzy/fuzzyJDocs/index.html>. Acesso em: mar. 2008.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GÓMES PÉREZ, A. Ontological Engineering: a state of the art. **Expert Update. British Computer Society**, v. 2, n. 3, p. 33-43, 1999.

GORDON, J.; SHORTLIFFE, E. H. The Dempster-Shafer Theory of Evidence. **In: Rule-based expert systems**. New York: Addison-Wesley, 1984, p.272-292.

GRUBER, R.G. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. **In: International Journal Human-Computer Studies**, **43**, ago, 1993, Padova, Italy, Available as Technical Report KSL 93-04, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University 1993, p. 907-928.

GU, T. et al. An ontology-based context model in intelligent environments. **In proc of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference**, vol. 2004, jan 2004, San Diego, California, USA, Publisher: Citeseer, Pages: 270–275.

GU, T.; PUNG, H. K; ZHANG, D.Q. A middleware for building context-aware mobile services. **In: Vehicular Technology Conference, 2004. VTC 2004-Spring. 2004 IEEE 59th**, n. 8274593, mai. 2004, Italy, Computer Society Press, Los Alamitos, 2004, p. 2656–2660.

GU, T.; PUNG, H. K; ZHANG, D.Q. A Bayesian approach for dealing with uncertain contexts. **In the Proceeding of the Second International Conference on Pervasive Computing** (Pervasive 2004), Vienna, Austria, April, 2004b.

GUAN. D. Devising an Information Gain-based Reasoning Engine for Context-aware Ubiquitous Computing Middleware. **In: International Conference on Intelligent Pervasive Computing IPC 2007**, n. ISBN: 9780769530062, jul. 2007, Hong Kong, China, 2007, IEEE, p. 184-187.

GUARINO, N. Formal Ontology and Information System. **In: Formal Ontology in Information Systems, FOIS'98, June 06-08, 1998, Trento, Italy**. Proceedings of the 1st International Conference. Amsterdam: IOS Press, 1998. p. 3-15.

GUARINO, N.; WELTY, C. **Conceptual Modeling and Ontological Analysis**. Padova: LADSEB-CNR, 1998.

GUIMARÃES, F. J. Z. **Utilização de Ontologias no Domínio B2C**. 2002. 195 p. Dissertação (Mestrado em Informática) - Departamento ou Centro, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro -RJ, 2002.

HARMON, P.; KING, D. **Sistemas Especialistas**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1988.

JANÉ, D. A. Uma Introdução ao Estudo da Lógica Fuzzy. **Hórus – Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas**, Ourinhos-SP, n. 2, 2004.

JENA. **A Semantic Web Framework for Java**. 2008. Disponível em: <<http://jena.sourceforge.net/>>. Acesso em: mar. 2008.

KAUFMANN, A.; GUPTA, M. M. **Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B, 1988.

LAWLEY, H.G. Operability Studies and Hazard Analysis. **Chemical Engineering Progress**, NY, USA, v. 70, n. 4, p. 45-56, 1974.

MIL-STD-882D. **Standard Practice for System Safety**. United State of America: Department of Defense, 2000. 27 p.

NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology Development 101**: a guide to creating your first ontology. In Stanford University, Stanford, 2004.

PINHO, A. F. **Uma Contribuição Para a Resolução de Problemas de Programação de Operações em Sistemas de Produção Intermitentes Flow-Shop**: a consideração de incertezas. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 1999.

PROTÉGÉ. **What is Protégé?**. Stanford Center for Biomedical Informatics Research, 2008. Disponível em: <<http://protege.stanford.edu/overview/>>. Acesso em: mar. 2008.

PRUD'HOMMEAUX, E.; SEABORNE, A. **SPARQL Query Language Guide for RDF**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2008/REC-rdf-sparql-query-20080115/>>. Acesso em: mar. 2008.

ROMAN, M. et al. A Middleware Infrastructure for Active Spaces. **IEEE Pervasive Computing**, NJ, USA, v. 1, n. 4, p.74–83, 2002.

SHAFER, G. **A Mathematical Theory of Evidence**. Princeton: Princeton University Press, 1976.

SHEHZAD, A. et al. Formal modeling in context aware systems. **In: Proceedings of the First International Workshop on Modeling and Retrieval of Context.** 2004.

SMITH, M. K.; WELTY, C.; MCGUINNESS, D. L. **OWL Web Ontology Language Guide.** Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>>. Acesso em: fev. 2008.

STEIN, R. The Dempster-Shafer Theory of Evidential Reasoning. **AI Expert**, p. 26-31, 1993.

STRANG, T.; LINNHOFF-POPIEN, C. A Context Modeling Survey. **In: First International Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management**, UbiComp 2004, n. 249347 , set. 2004, Nottingham, England.

SWARTOUT, B. et al. Toward Distributed Use Of Large-Scale Ontologies. **In: Proceedings of AAAI97 Spring Symposium Series Workshop on Ontological Engineering:** AAAI Press, 1997. p. 138-148.

TIBIRIÇA, C. A. G.; NASSAR, S. M. **Desenvolvimento De Uma Abordagem Híbrida Difuso-Probabilística Para A Modelagem De Incerteza.** Artigo. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC, 2003.

TRUONG, K. N.; ABOWD, G. D.; BROTHERTON, J. A. Who, What, When, Where, How: design issues of capture & access applications. **In: Ubiquitous Computing, UbiComp 2001, September 30-October 02, 2001, Atlanta, Georgia. Proceedings of the International Conference in Ubiquitous Computing, Berlin: Springer, 2001.** p. 209-224.

TRUONG, B.; LEE, Y.; LEE, S. Modeling and Reasoning about Uncertainty in Context-Aware Systems. **In: Proceeding of the The IEEE International Conference on e-Business Engineering (ICEBE 2005),** Beijing, China: IEEE Computer Society Washington, 2005a. p. 102-109.

TRUONG. B; LEE, Y.; LEE, S. Modeling Uncertainty in Context-Aware Computing. **In: Proceedings of the Fourth Annual ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2005),** Jeju, Korea: IEEE Computer Society Washington, 2005b. p. 676 - 681.

USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. Ontologies: principles, methods and applications. **Knowledge Engineering Review**, v. 11, n. 2, p. 93-155, 1996.

VIEIRA, R. et al. Web Semântica: Ontologias, Lógica De Descrição E Inferência. **In: Cesar Teixeira; Eduardo Barrere; Iran Abraão. (Org.). Web e Multimidia: Desafios e Soluções (WebMedia 2005 - Minicursos)**. Porto Alegre: SBC, v.1, p. 127-167, 2005.

VON ALTROCK, C. **Fuzzy Logic and Neurofuzzy Applications in Business and Finance**. New jersey: Prentice Hall PTR, 1996.

WANG, M.M. et al. Middleware for Wireless Sensor Networks: a survey. **In: journal of computer science and technology**. Springer, Boston, volume 23, ISBN: 0780395751, p. 305-326, 2008.

WILSON, R. A.; KEIL, F. C. **The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences**. London: The MIT Press, 1999.

YEN, J.; LANGARI, R.; ZADETH, L. A. **Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems**. New York: IEEE Press, 1994.

ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

APÊNDICE A - Solução Baseada em Ontologias para Monitoramento e Simulação de Situações de Emergência

(6th International Information and Telecommunication Technologies Symposium, 2007)

Solução Baseada em Ontologias para Monitoramento e Simulação de Situações de Emergência

Regina B. Araujo¹, Azzedine Boukerche², Rafaela V. Rocha¹, Marcio R. Campos¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos, SP, Brasil

²SITE, University of Ottawa
Ottawa, Canada

Abstract- This paper describes an ontology-based architecture to support the integration of simulation and real-time monitoring of physical environments that can leverage rescue teams potential in emergency situations. The novelty of this work relies on the use of ontologies not only for the interpretation of contexts that are captured from a sensor network from the physical environment, but also to build simulations based on that physical environment.

I. INTRODUÇÃO

A simulação de ambientes virtuais de treinamento introduz um ambiente seguro para investigar o comportamento e a resposta de humanos às situações perigosas, reduzindo os riscos reais de perdas de vida e patrimônio. Por outro lado, o monitoramento em tempo-real de ambientes reais sujeito a situações de emergência também é importante para que as equipes de resgate saibam o que está ocorrendo em situações de emergência e possam tomar as melhores medidas no combate a emergências e em atividades de salvamento e resgate. Assim, sistemas que integram simulação e monitoramento de ambientes físicos em tempo-real podem potencializar a eficácia e efetividade do trabalho de equipes em situações de preparação e resposta a emergências.

O desenvolvimento e o uso de aplicações de modelagem e simulação envolvem muitos tipos de dados e de informação. Desenvolver e reusar estes dados consomem extensivos recursos [1]. As ontologias podem ser usadas na modelagem e simulação para suportar representação distribuída de dados, comportamentos, descrição de unidades e objetos simulados e cenários com condições iniciais [1].

As aplicações de modelagem e simulação, atuais e futuras, têm vantagens das tecnologias de sistemas inteligentes e baseados em conhecimento [2]. O intensivo conhecimento introduzido na simulação requer a aquisição, armazenamento, manutenção, e aplicação de conhecimento altamente estruturado, inclusive ontologias [2].

Ontologia pode ser definida como a descrição do conhecimento seguindo alguns princípios básicos como a identificação dos conceitos do domínio, da hierarquia de conceitos, das propriedades e de seus relacionamentos, de forma que reflitam uma realidade [3].

Este artigo descreve ontologias relacionadas à situação de emergência, cujo objetivo é monitorar ambientes físicos em tempo real e utilizar estes ambientes como cenários de simulações de situações de emergência para treinamento virtual de equipes de preparação e resposta a emergências. Os treinamentos incluem salvamento de vidas, salvamento de patrimônio e uso de equipamentos em vários tipos de emergências, tais como: incêndio, explosão, vazamento de gás ou de substâncias tóxicas. As áreas de aplicação concentram-se em dois cenários: aeronaves e plantas industriais. As ontologias serão úteis tanto para ajudar na interpretação do que está ocorrendo no ambiente físico real, como também para estruturar as entidades da simulação e facilitar a sua geração.

O artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 descreve o projeto de preparação para emergências do Laboratório de Realidade Virtual em Rede do Departamento da Computação da UFSCar. A Seção 3 apresenta as características de ontologias e algumas simulações que utilizam ontologias para a sua criação. A seção 4 descreve as ontologias necessárias para o monitoramento e simulação de situações de emergência e o que cada uma delas inclui. A seção 5 descreve a ontologia de emergência para interpretação de contextos que são capturados de redes de sensores sem fio. A seção 6 descreve exemplos de instâncias de situações para treinamento. A seção 7 descreve a arquitetura para monitoramento e simulação. A seção 8 descreve o estado atual do trabalho, seguida de Conclusão na seção 9 e Referências Bibliográficas.

II. PROJETO DE PREPARAÇÃO E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS DO LABORATÓRIO DE REALIDADE VIRTUAL EM REDE (LRVNET)

A preparação para emergências requer um processo de planejamento, treinamento e exercício acompanhado da aquisição de equipamentos e de instrumentos para suporte às ações de emergência [10]. Para isso, o uso de dados históricos coletados de incidentes passados é de extrema importância, e também de dados sintéticos (gerados por computador). A visualização em tempo-real de incidentes em progresso, e a posteriori de dados coletados ou sintéticos, são dois desafios na criação de um sistema de monitoramento de ambientes

físicos sujeitos a situações de emergência. Além de outro desafio que é a realização de um monitoramento preciso dos ambientes sob situações de risco.

De modo a superar os desafios mencionados, o nosso projeto está inserido em um sistema preciso de monitoramento, atuação, simulação e visualização de situações de preparação e resposta a emergências que integra realidade virtual, redes de sensores e computação ubíqua. O projeto sendo desenvolvido é resultado de uma colaboração entre o Laboratório de Realidade Virtual em Rede (LRVNet) do Departamento de Ciência da Computação da UFSCar, o Paradise Lab do SITE da Universidade de Ottawa e o Laboratório de Veículos Aéreos não Tripulados do Departamento de Materiais, Automobilística e Aeronáutica da USP-SC, que visa a pesquisa e desenvolvimento de soluções de monitoramento em ambientes aeronáuticos (ensaios de voo e solo) e plantas industriais.

Conforme mostra a Fig. 1 o projeto está organizado como se segue:

(1) Algoritmos e soluções para redes de sensores e atuadores que atendam às necessidades da classe de aplicações de monitoramento, isto é, protocolos tolerantes a falhas, cientes de consumo de energia, baixa latência, seguros, com qualidade de serviço e etc;

(2) Protocolos que atendam requisitos não funcionais para aplicações de monitoramento de condições de emergência. Entre os protocolos desenvolvidos estão o de agregação, ordenação e interpretação de eventos.

(3) Interpretação de contextos, que podem ser simples para tratar ambigüidades e repetição de informação ou bastante complexa envolvendo a correlação de diferentes eventos e contextos;

(4) Sistemas de visualização tanto em tempo real quanto a posteriori que permite uma visualização mais precisa das informações através de ambientes virtuais 3D que imitam o ambiente físico.

(5) Arquitetura de suporte à integração de ontologias para interpretação de contextos e criação de simulações baseadas no modelo de referência HLA (*High Level Architecture*).

(6) Sistemas de visualização com controle e gerenciamento de simulações para diferentes dispositivos de saída (de PDAs a caverna digital).

A próxima seção descreve o conceito básico de ontologias e trabalhos relacionados que utilizam ontologias para a criação de simulações.

III. ONTOLOGIAS E SIMULAÇÕES QUE UTILIZAM ONTOLOGIAS

A. Ontologia

As ontologias provêm um vocabulário comum de um domínio e definem os significados dos termos e as relações entre eles, e o conhecimento em ontologias é formalizado usando cinco tipos de componentes: conceitos, relações, funções, axiomas e instâncias [4]:

- **Conceitos:** e uma hierarquia entre esses conceitos, ou seja, uma taxonomia. Os conceitos podem ser abstratos ou concretos, elementares ou compostos, reais ou fictícios;

- **Relações:** representam um tipo de interação entre os conceitos do domínio;

- **Funções:** são um caso especial de relação em que um conjunto de elementos tem uma relação única com um outro elemento;

- **Axiomas:** são usados para modelar sentenças que são sempre verdadeiras;

- **Instâncias:** são usadas para representar elementos.

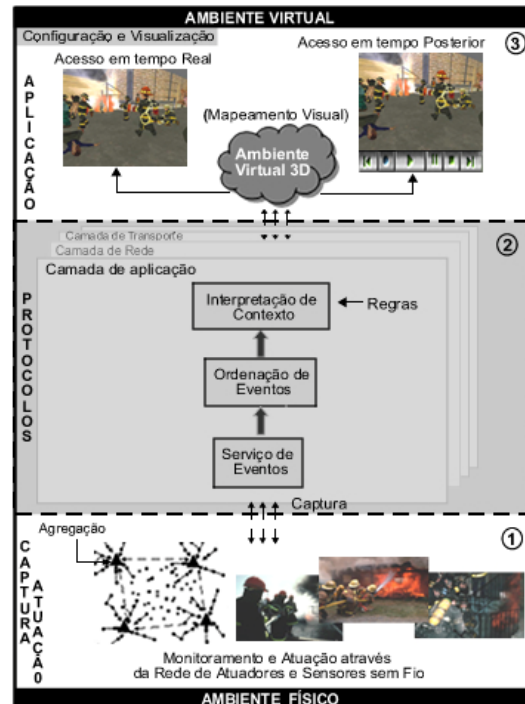


Fig. 1. Visão Geral do Projeto de Preparação e Resposta para Emergências do LRVNet

Usualmente a ontologia deve ser formal o suficiente para suportar inferência automática e idealmente requer o consenso entre uma comunidade [3].

As ontologias contribuem para a redução de confusão conceitual e terminológica, proporcionando um entendimento compartilhado e este entendimento serve de base para [5]:

- **Comunicação:** entre pessoas com diferentes necessidades e pontos de vista, devido aos diferentes contextos em que se encontram;

- **Interoperabilidade:** entre sistemas, obtida através da tradução de informações entre diferentes métodos de modelagem, paradigmas, linguagens e ferramentas de software;

- **Reusabilidade:** da representação do conhecimento compartilhado, com benefícios para a engenharia de sistemas, em particular;

- **Confiabilidade:** gerada pela possibilidade de automatizar a checagem de consistência de uma representação formal;

- **Especificação:** o conhecimento compartilhado pode ajudar na identificação de requisitos e na definição da especificação de um sistema.

B. Simulações que utilizam ontologias

Nesta seção descrevemos alguns trabalhos de simulação utilizando ontologias:

Em 1999, Xiojum Shen et al. utilizaram ontologias para prover comunicação, tanto entre as entidades simuladas quanto entre usuário e personagens da simulação, isto é, a ontologia é o vocabulário dos agentes da simulação. [6]. Porém, esta solução não utiliza os benefícios da ontologia para facilitar a criação de simulações. Neste trabalho foi desenvolvido um ambiente colaborativo em VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), que permite aos usuários navegar no mundo virtual. A interação entre entidades foi desenvolvida usando *Run-Time Infrastructure (RTI)* e *High Level Architecture (HLA)*. Segundo os autores, neste sistema, as entidades não têm comportamento trivial e são móveis, dizem ainda que a linguagem utilizada foi Java e o mecanismo de comunicação usado foi KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*).

Em 2004, Wesley Bille et al. e o grupo da WISE Research Group utilizaram ontologia para modelar um sistema de realidade virtual para a Internet [7]. Este sistema foi desenvolvido usando VRML e utilizaram como exemplo de aplicação um shopping virtual onde podiam ser observadas as prateleiras com objetos. Uma pessoa não especialista em realidade virtual pode instanciar conceitos da ontologia e lugares para eles no mundo virtual, por exemplo pode instanciar uma prateleira para colocá-la no mundo virtual e instanciar uma televisão e colocá-la no topo da prateleira. A fase de desenvolvimento é dividida em três estágios: 1) Estágio de Especificação: onde todos os objetos da cena são instanciados na ontologia; 2) Estágio de Mapeamento: onde é especificado como os conceitos e as instâncias serão representados no mundo virtual; e 3) Estágio de Geração: o código VRML é gerado. No estágio de mapeamento pode ser necessária a ajuda de algum especialista de realidade virtual se pessoa que estiver planejando o mundo virtual tiver pouca experiência em realidade virtual.

Segundo os autores, o uso das ontologias tem as seguintes vantagens: compreender o conhecimento do domínio, expressar o mundo virtual muito mais em termos do domínio, gerar o mundo virtual mais facilmente, e adaptar aos conceitos da Web Semântica [7].

Em 2006, Daniel da Costa Paiva e Soraija Raupp Musse utilizaram ontologia para definir as características do ambiente virtual e da população (humanos virtuais) para a sua simulação de multidões humanas em situações da vida cotidiana [8]. São simulados as atividades da multidão e seu movimento no espaço, com diferentes perfis de pessoas (estudantes, adultos que trabalham e adultos que não trabalham), com diferentes personalidades (extrovertido, normal ou politizado) e características relacionadas ao seu estado emocional (raiva,

felicidade, medo) Essas “pessoas” freqüentam eventos sociais que ocorrem em vários ambientes de uma cidade virtual e podem ter alterados os seus estados emocionais.

Segundo os autores a ontologia foi utilizada para facilitar o controle, a extensão, a integridade e a lógica do sistema, além de fornecer regras de maneira formal para que todos os agentes utilizem. Não foi construído um modelo de ontologias genérico, que possa ser aplicado em quaisquer cenários de simulação em ambientes virtuais, mas somente o necessário para o projeto específico.

A utilização de ontologias no trabalho sendo aqui descrito diferencia-se da proposta por Xiojum Shen et al. [6] pois estamos utilizando as ontologias para facilitar a instanciação de simulações.

No trabalho de Wesley Bille et al. pode-se precisar de uma pessoa especializada para ajudar no estágio de mapeamento da ontologia com o mundo virtual, quando o planejador está montando as cenas.

Em nossa solução, qualquer especialista em segurança pode ser capaz de criar cenários de simulação. Estão também sendo criadas ontologias genéricas que podem ser aplicadas em qualquer cenário de simulação em ambientes virtuais, ao contrário do trabalho descrito em [8]. Mais ainda, nossa solução suporta a utilização de avatares, ao contrário de todos os trabalhos anteriormente mencionados.

IV. INTEGRAÇÃO DE ONTOLOGIAS PARA A CONSTRUÇÃO DE SIMULAÇÕES

As ontologias identificadas para a simulação de situações de emergência são cinco: pessoa, infra-estrutura, objeto, emergência e protocolo de treinamento, conforme mostra a Fig. 2.

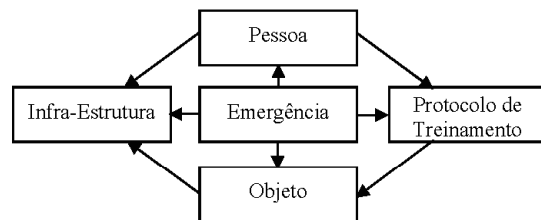


Fig 2. Ontologias para simulação e monitoramento de situações de emergência

A. Ontologia de Pessoa

Esta ontologia expressa os conceitos de pessoa. Pode ser uma pessoa comum participante de alguma atividade da simulação, ou uma pessoa especialista que está envolvida em alguma atividade de salvamento e resgate em situações de emergências. Contém as propriedades de pessoa, tais como idade, sexo e localização em algum lugar da infra-estrutura. Os especialistas seguem um protocolo de treinamento definido na ontologia de protocolo de treinamento.

Na Tabela I, são apresentados alguns conceitos, propriedades e relacionamentos para exemplificar a ontologia de pessoa.

TABELA I
ONTOLOGIA DE PESSOA

| Conceito | Propriedades | Relacionamentos |
|-----------------|----------------|-----------------|
| Pessoa | idade sexo | estaEm(Lugar) |
| • Participantes | | |
| • Especialistas | especializacao | |

B. *Ontologia de Infra-estrutura*

Esta ontologia suporta a representação de conhecimento de lugares físicos. Os lugares físicos podem ser compostos ou simples, isto é, podem incluir outros lugares, como um terreno ou uma edificação, ou ser incluído por algum lugar, como por exemplo um estacionamento ou uma sala. Algumas propriedades que os lugares físicos têm são: quantidade de pessoas, carga incêndio e riscos vizinhos, que são dados importantes para as equipes de resgate. A partir desta ontologia pode-se pesquisar ambientes próximos a um local sinistrado a exemplo de um incêndio, e prevenir desastres devido à possibilidade de locais vizinhos apresentarem riscos relevantes. Na Tabela II, temos alguns conceitos, propriedades e relacionamentos para exemplificar a ontologia de infra-estrutura.

TABELA II
ONTOLOGIA DE INFRA-ESTRUTURA

| Conceito | Propriedades | Relacionamentos |
|------------------------------|---|---|
| Lugar | | temEquipamentoSeguranca (MedidasDeSegurancaContraIncendio) riscoVizinho(Lugar) incluidoPor(Lugar) inclui(Lugar) |
| • LugarComposto | cargaIncendio | |
| ○ Edificação | quantPessoas | |
| ○ Terreno | areaTotal risco nroPavimentos altura endereço | |
| • LugarSimples | | |
| ○ LugarSimplesParaEdificacao | | |
| ▪ AreaDepositoGas | | |
| ▪ Estacionamento | | |
| ▪ ReservaIncendio | | |
| ○ LugarSimplesNaEdificacao | | |
| ▪ AreaDescoberta | | |
| ▪ Banheiro | | |
| ▪ Corredor | | |
| ▪ Escadaria | | |

C. *Ontologia de Objeto*

Esta ontologia define um conjunto de conceitos e propriedades para a representação de objetos, podendo ser estes equipamentos de segurança, como lanternas, mangueiras, cilindros de mergulho, cilindros reservas de equipamentos de proteção respiratória (EPR), suportes e máscaras de EPR, além de material de salvamento em geral. Também equipamentos de proteção passiva podem ser manipulados a exemplo de extintores, acionadores manuais da bomba de incêndio, registro de recalque, bomba e reserva de incêndio, (reservatório de água), chave elétrica principal, pontos de

iluminação de emergência, central de alarme e detecção, baterias e sirenes dos sistemas de alarme, além de rotas de fuga intermediárias e finais em situações de riscos referentes a incêndios, explosões, vazamento de gás ou de substâncias tóxicas[11], ferramentas de uso das equipes de resgate ou objetos valiosos pertencentes ao patrimônio. Na Tabela III, temos alguns conceitos e relacionamentos para exemplificar a ontologia de objeto, criada a partir das normas do “Decreto Estadual 46.076 – Regulamento de Segurança Contra Incêndio das Edificações e Áreas de Risco” [11].

TABELA III
ONTOLOGIA DE OBJETO

| Conceito | Relacionamento |
|----------------------------------|----------------|
| MedidasDeSegurancaContraIncendio | estaEm(Lugar) |
| • Extintores | |
| • Riscos | |
| • RotasDeFuga | |
| • SistemaDeteccaoAlarme | |
| • SistemaEletrico | |
| • SistemaFixoExtincao | |
| • SistemaHidrantes | |
| • SistemaIluminacaoEmergencia | |
| • SistemaPassivo | |
| • VazosETanques | |

D. *Ontologia de Emergência*

Esta ontologia define um conjunto de conceitos e propriedades referentes a situações de emergência para suportar a representação de conhecimento e inferências sobre incidentes e acidentes. Adotamos como definição de um acidente quando a falha ocorre devido à imperícia (ex.: a pessoa não sabe pilotar um avião), imprudência (ex.: a pessoa sabe pilotar o avião porém não teve devido cuidado no voo) ou negligência (ex.: a pessoa não sabe pilotar um avião nem toma os devidos cuidados). Quando não temos imperícia, imprudência ou negligência, mas temos fatos que podem gerar um acidente, temos um incidente. Salientamos que a somatória de incidentes pode gerar um acidente (ex.: mangueira do avião com vazamento leva à falta de combustível).

A ontologia da emergência sendo gerada neste trabalho está sendo construída com o apoio do Corpo de Bombeiros de São Carlos e também em parceria com o laboratório de Veículos Aéreos não Tripulados do Departamento de Materiais, Automobilística e Aeronáutica da USP-São Carlos.

E. *Ontologia de Protocolo de Treinamento*

Esta ontologia define um conjunto de conceitos e propriedades referentes a regras que a equipe de resgate tem que seguir. Um exemplo disso são as regras necessárias ao correto protocolo de operações de incêndio, que seguem o protocolo SICER (iniciais dos seguintes termos):

- **Salvamento:** Antes do início dos trabalhos é importante rastrear a área sinistrada para detectar a presença de vítimas;
- **Isolamento:** Após salvamento das vítimas, as áreas próximas ao foco de risco são isoladas para evitar propagação do incêndio;
- **Confinamento:** Compreende o combate ao foco de incêndio propriamente dito;

- **Extinção:** Com o decorrer das operações de combate, chega-se à extinção do foco de incêndio;
- **Rescaldo:** Consiste na pesquisa de novos focos de incêndios que possam entrar em ignição (fagulhas);
- **Ventilação:** São manobras para liberar a fumaça proveniente do incêndio;
- **Proteção de Salvados:** Após liberar a fumaça do local, são necessárias a limpeza e proteção dos itens que não foram atingidos pelo fogo, além da organização do local sinistrado [12];

V. ONTOLOGIA DA EMERGÊNCIA PARA INTERPRETAÇÃO DE CONTEXTO

A ontologia da emergência como base de conhecimentos para a interpretação de contexto de situações emergenciais justifica-se ao considerarmos a demanda que situações emergenciais exigem devido à luta contra o tempo visando salvamentos bem sucedidos.

O contexto é definido aqui como toda informação importante sobre o ambiente físico e que seja importante para a aplicação. Sensores capturam eventos. Os contextos são compostos de eventos relacionados. Os contextos podem ser muito simples quando referenciados a um único evento, como temperatura, pressão atmosférica ou presença de fumaça, ou mais complexos quando compostos por dois ou mais eventos inter-relacionados por dois ou mais relacionados, tais como a ocorrência de incêndios (uma combinação de eventos inter-relacionados: “aumento de temperatura”, “falta do oxigênio” e “presença de material combustível”). Quando a relação entre os eventos for temporal, isto é, onde o período em que cada um dos eventos ocorre é importante, contextos podem auxiliar em questionamentos decisórios mais elaborados como “porque uma determinada situação aconteceu no ambiente”, que poderia ser respondida com o resultado de interpretações mais complexas extraída de uma ordenação de eventos.

Truong et. al. caracterizam contexto através dos “5W”, descritos a seguir [14]:

- **Who** (identificação): seres humanos realizam suas atividades e recordam de fatos passados com base na presença das pessoas que os vivenciaram. Sendo assim, o sistema deve prover informações de contexto de todas as pessoas envolvidas em uma determinada atividade;
- **Where** (localização): assim como as informações de identificação, informações de contexto de localização têm sido muito utilizadas em sistemas cientes de contexto. As pesquisas mostram um interesse particular na utilização dessa informação contextual associada a outras dimensões, por exemplo, a dimensão temporal para explorar a mobilidade de usuários ao longo do tempo;
- **When** (tempo): informações temporais têm sido usadas para indexar registros capturados ou para informar por quanto tempo um usuário esteve em uma determinada localização. Porém, o conhecimento dessas informações permite fazer inferências ajudando a interpretar as atividades humanas e estabelecer padrões de comportamento. Por exemplo, se um membro de uma equipe de resgate permanece durante muito tempo em uma mesma posição, de forma

incomum de acordo com os procedimentos formais, há fortes indícios de ele tenha sofrido uma queda e precise de ajuda;

- **What** (atividade): o objetivo é obter informação, normalmente via sensores, que possibilite interpretar o que está ocorrendo em um determinado local. Em sistemas onde vários eventos podem ser desenvolvidas, identificar o que está ocorrendo em um determinado momento pode ser uma tarefa complexa (o que está acontecendo na asa do avião? A pressão está acima do normal e foi detectada uma pequena rachadura);
- **Why** (intenção): tão difícil quanto perceber o que está ocorrendo em um determinado local sendo monitorado, é entender o porquê está ocorrendo. Interpretar informações de contexto que possam caracterizar o estado de um local, objeto ou pessoa é um dos desafios da computação ciente de contexto.

No caso de monitoramento de uma pessoa, por exemplo, normalmente as informações de contexto que expressam a atividade e a intenção dessa pessoa são obtidas por combinação de outras informações de contexto (ex: localização + identificação + tempo), ou via sensores como aqueles para medição de temperatura corporal, entonação vocal, batimento cardíaco e pressão arterial.

Essas categorias de informações de contexto podem, e devem ser combinadas para se ter informações suficientes que mapeiam o ambiente do usuário.

As ontologias de emergência serão consultadas por nosso sistema de apoio à preparação e resposta a emergências, que é ciente de contexto e responde às perguntas importantes em condições críticas. Em situações de incêndio, por exemplo, questionamentos podem ser feitos a um sistema que controla um ambiente físico:

- Onde começou o incêndio?
- Quando este começou?
- Quem está na área de risco?
- Como começou o princípio de incêndio?
- O que pode estar comprometido com o fogo?
- Por que o incêndio iniciou?

Estas perguntas embora pareçam singelas, em conjunto ou inter-relacionadas podem suprimir tempo, trabalho e riscos reais em trabalhos emergenciais focados em ambientes críticos. Notadamente, a área de segurança tem demonstrado um vasto campo de pesquisa ao considerarmos que o fator tempo delimita ações cuja avaria ou atraso possam implicar perdas de valor inestimável, ao indicarmos vida e patrimônios. Por melhor que sejam os trabalhos preventivos, teremos que conviver com prováveis e reais acidentes cotidianos.

VI. A IMPOSSIBILIDADE DO RISCO ZERO

Embora um grande número de tecnologias e de resultados de pesquisas sejam incorporadas em ambientes emergenciais, a lacuna na identificação e interpretação de informações inter-relacionadas ainda persiste nessas soluções. O objetivo da proposta deste trabalho é investigar e pesquisar formas inovadoras de apoio ao treinamento e ao monitoramento de ambientes sujeitos a situações de risco.

De modo geral, probabilidades de riscos irão permear todas as atividades dos seres humanos, seja num ambiente

doméstico, de trabalho, em viagens ou lazer, dessa forma ratificando a impossibilidade em eliminá-los por completo. O que é importante ressaltar é que esses potenciais são conhecidos ou percebidos por nós, e assimilados no cotidiano. Diferente conotação é dada aos potenciais de riscos decorrentes de acidentes industriais ou aeronáuticos, muitas vezes desconhecidos e/ou não aceitos pela sociedade. Por esse mesmo motivo, esses riscos não podem ser totalmente extinguidos das atividades industriais. Assim sendo, a máxima Risco Zero, muitas vezes exposta à entrada de parques fabris, deve ser estimada em cuidadosos critérios. A análise de acidentes constitui-se de uma avaliação dos acidentes já ocorridos, e que sejam semelhantes a uma situação de interesse presente, o que permite obter subsídios para uma avaliação qualitativa de causas e conseqüências de acidentes.

Essas informações são obtidas por meio de consultas a banco de dados de acidentes nacionais e/ou internacionais, ou ainda por meio de relatos técnicos ou literatura especializada. A Análise Histórica de Acidentes objetiva a identificação de eventos envolvendo manuseamento na instalação, e conseqüente possibilidade de possíveis explosões, incêndios, poluição ambiental e acidentes pessoais de grave conotação. Nesses casos os principais bancos de dados a serem consultados são nacionais (CETESB é uma empresa em estudo) e internacionais [13].

Apesar de várias medidas serem adotadas para diminuir os riscos em ambientes sujeitos a situações de emergência, como treinamentos e instruções diversas, sistemas complexos com potencial de apoio à tomada de decisões e que possam facilitar a criação de simulações para treinamento em ambientes reais e complexos são de extrema importância na preparação e resposta a emergências. A seção abaixo apresenta um exemplo de aplicação das ontologias descritas como parte de nosso sistema para a criação de diferentes cenários de simulação.

A. Instanciação de situações de treinamento

Uma instância de simulação pode ser criada através do uso integrado de ontologias. Um exemplo disso é a criação de cenário de treinamento de uso de equipamentos para treinamento das equipes de salvamentos. Um líder das equipes a serem treinadas pode mudar uma instância de simulação alterando ou removendo diferentes objetos. Dessa forma, seria possível propor alterações e graus de dificuldade para o treinamento a exemplo da instalação de extintores de água em ambientes energizados com risco de o arco voltaico atingir o treinado. Outro exemplo é a observação se as equipes que adentraram ao local sinistrado desativaram a energia elétrica, devido ao fato dela poder gerar explosão ambiental por compactação da fumaça proveniente do incêndio que toma proporções de um corpo sólido e conseqüente combustão simultânea (*flash over*).

A arquitetura de suporte à integração de ontologias para a criação de simulações e monitoramento de ambientes sujeitos a situações de emergência é descrita na próxima seção.

VII. ARQUITETURA PARA MONITORAMENTO E SIMULAÇÃO

A arquitetura do nosso projeto é estruturada através de quatro módulos: Provedor de Contexto, Interpretador de Contexto, Módulo de Simulação e Visualizador 3D, conforme mostra a Fig. 3.

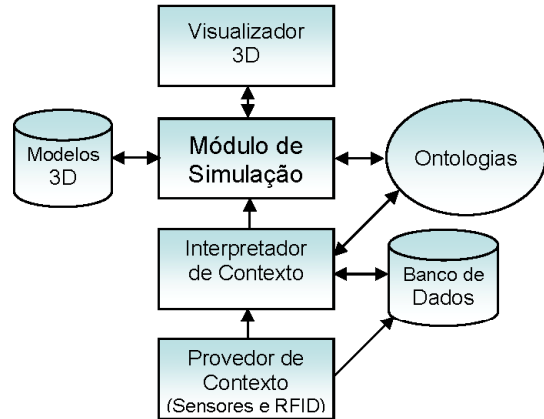


Fig. 3. Arquitetura de Suporte ao Monitoramento e Simulação

O módulo **Provedor de Contexto** é responsável por adquirir os dados dos sensores e etiquetas RFID (*Radio-Frequency IDentification*) espalhados no ambiente físico para a realização do monitoramento em tempo real. Esses dados são guardados no **Banco de Dados** e enviados ao módulo **Interpretador de Contexto** que pode consultar as **Ontologias** para determinar o que está ocorrendo no ambiente real.

A interpretação de contexto pode ser descrita como sendo o conjunto de métodos e processos envolvendo a manipulação, a agregação, a derivação, a inferência e o refinamento sobre as informações contextuais, com o propósito de aumentar o nível de abstração dessas informações ou mesmo de compor novas informações contextuais derivadas, de modo a facilitar o entendimento de um determinado contexto pelas aplicações e auxiliá-las em seus processos de tomada de decisão [9].

O **Interpretador de Contexto** passa as informações para o módulo de **Simulação** que utiliza as **Ontologias** e os **Modelos 3D** para gerar a cena e exibi-la no **Visualizador 3D**.

Para treinamento de equipes de resgate podem ser geradas simulações a partir do **Visualizador 3D** que passa os dados para o módulo de **Simulação**. Este, por sua vez, gera as cenas consultando as **Ontologias** e os **Modelos 3D** que são referenciados na ontologia.

O diferencial de nossa solução aqui proposta está na possibilidade de se criar simulações, a partir de cenários que estão sujeitos a eventos ocorrendo em tempo-real (ou que foram gravados e são utilizados a posteriori). Por exemplo, em uma situação de emergência, como um eventual incêndio no setor A da área sul de uma empresa, os eventos que estão ocorrendo são gravados e interpretados em tempo-real. Esses eventos gravados podem ser acessados para serem utilizados

na instanciação de situações que podem servir para apoiar o melhor gerenciamento das equipes de combate ao fogo e salvamento. Esses eventos podem também ser utilizados como base para treinamento de bombeiros e de equipes de salvamento, com a possibilidade do cenário da simulação ser alterado pelo criador da simulação, adicionando objetos dirigidos por simulação, avatares (objetos dirigidos por usuários em tempo-real), equipamentos diferentes, etc. Esta particularidade de nossa solução a torna diferente de outras soluções, mais limitadas ou específicas para simulação, sem a integração com eventos ocorrendo em tempo-real.

VIII. ESTADO ATUAL DO TRABALHO

Matrizes de decisão referente a plantas industriais, bem como aeronaves, estão sendo elaboradas visando munir de informações as ontologias.

As ontologias de preparação e resposta a emergências (ontologias de Infra-Estrutura, Pessoa, Objeto, Emergência e Protocolo de Treinamento) em plantas industriais e aeronaves estão sendo construídas. Está em fase de testes a integração das ontologias para a construção das simulações.

Estamos estudando a possibilidade das equipes de treinamento modelar as simulações a partir da contagem de estórias não lineares, para facilitar a criação e manipulação destas simulações.

IX. CONCLUSÃO

Sistemas críticos apresentam circunstâncias dependentes de tempo-resposta para completo sucesso das operações de salvamento. Além dessas condições, palcos de operações para atuação em situações de emergência compreendem conhecimentos multidisciplinares que implicam em dificuldades em tomadas decisórias. Sistemas que potencializam a tomada de decisões e o treinamento de equipes de preparação e resposta a emergências não evitarão a incidência de futuros acidentes, mas podem amenizar e fornecer qualidade às pessoas, equipamentos ou edificações que necessitam do devido e necessário resguardo.

Este artigo descreveu uma arquitetura de suporte a sistemas de monitoramento de ambiente físicos cientes de contexto que podem ser utilizados como cenários de simulações. A integração de várias ontologias é utilizada para gerar diferentes instâncias de simulações. Ontologias são utilizadas também para a interpretação de situações de emergência. Os objetivos do sistema sendo gerado incluem: a criação rápida de diferentes instâncias de simulações de treinamento de preparação e resposta a emergências, por membros de equipe de segurança (sem a necessidade de programadores); e a interpretação, através de ontologia da emergência, de contextos que podem levar a incidentes ou

acidentes em aeronaves (em ensaios de vôo e solo) e plantas industriais.

AGRADECIMENTOS

Este projeto está sendo financiado pela Fapesp, processo 2006/00741-7 e processo 04/09275-3 (projeto Multusuário - Caverna Digital). O projeto conta também com a colaboração do Corpo de Bombeiros de São Carlos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Lacy, and W. Gerber, "Potential modeling and simulation applications of the web ontology language – OWL". Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. Washington, DC, Dec 5-8 2004, pp. 265-270.
- [2] P. Benjamin, M. Patki, and R. Mayer, "Using Ontologies for Simulation Modeling". Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference. Monterey, CA, Dec 3-6 2006, pp. 1151-1159.
- [3] R. Vieira, D. S. Abdalla, D. M. Silva, e M. R. Santana, "Web Semântica: Ontologias, Lógica de Descrição e Inferência". In: Cesar Teixeira; Eduardo Barrere; Iran Abraão. (Org.). Web e Multimídia: Desafios e Soluções (WebMedia 2005 - Minicursos). 1 ed. Porto Alegre: SBC, 2005, v. 1, p. 127-167.
- [4] G. Pérez, "A. Ontological Engineering: A state of the art". Expert Update. British Computer Society. v. 2, n. 3, p. 33-43. 1999.
- [5] M. Uschold, M. Gruninger, "Ontologies: Principles, methods and applications". Knowledge Engineering Review, v. 11, n. 2, p. 93-155, February 1996.
- [6] X. Shen, R. Hage, and N. Georganas. Agent-Aided Collaborative Virtual Environments over HLA/RTI. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Interactive Simulation and Real-Time Applications. College Park, Maryland, 23 - 24 October, 1999 .
- [7] W. Bille, O. Troyer, F. Kleinermann, B. Pellens, R. Romero. "Using ontologies to build virtual worlds for the web". Proceedings of the International Conference on WWW/Internet 2004, Madrid, Spain, p. 6-9, October 2004.
- [8] D. C. Paiva, "Modelagem e Simulação de Multidões Humanas em Situações da Vida Cotidiana usando Ontologias". Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Computação Aplicada da Universidade do Vale do Rio Sinos, São Leopoldo, RS, 2006.
- [9] C. Z. Calvi, "Uma Plataforma de Suporte a Aplicações Móveis Sensíveis ao Contexto". Projeto Final apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2006.
- [10] A. R. Lopes, "Projeto de um Ambiente 3D de Visualização e Reprodução de Eventos Capturados e Interpretados a Partir de Ambientes Físicos Cientes de Contexto para Aplicações de Preparação para Emergência. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.
- [11] Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, "Decreto Estadual 46.076 – Regulamento de Segurança Contra Incêndio das Edificações e Áreas de Risco". Conjunto de normas utilizadas no Estado de São Paulo no tocante à regularização de edificações, São Paulo, SP, 2001.
- [12] Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, "Decreto Estadual 46.076 – Manual de Estratégia e Tática de Combate a Incêndio". Manual Técnico de Bombeiro, São Paulo, SP, 2006.
- [13] A. E. P. Brown, "Análise de Risco." GSI/NUTAU/USP, Fevereiro, São Paulo, SP, 1998.
- [14] K. N. Truong, G. D. Abowd, and J. A. Brotherton, "Who, What, When, Where, How: Design Issues of Capture & Access Applications," in Proceedings of the International Conference: Ubiquitous Computing (UbiComp 2001), Atlanta, Georgia, September 2001, pp. 209-224.

APÊNDICE B - Creating Emergency Management Training Simulations through Ontologies Integration

(The 2008 Workshop on Advanced Computing for Critical Systems and EMergency Preparedness and Response (WCEMP2008), In conjunction with The 11th IEEE Intl Conf on Computational Science and Engineering (CSE2008), 2008)

Creating Emergency Management Training Simulations through Ontologies Integration

Regina B. Araujo¹, Rafaela V. Rocha¹, Marcio R. Campos¹, Azzedine Boukerche²,

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos, SP, Brasil

²SITE, University of Ottawa
Ottawa, Canada

Abstract

Training simulations, which involve the collaboration of multiple users (represented as avatars), sharing a common virtual environment, are difficult to build, control and manage. This paper describes an architecture to support non-programmer emergency management trainers to rapidly create different instances of powerful and complex training simulations. The novel aspects of this architecture, that makes it different from other related systems, are the innovative techniques and concepts that are used. Events collected from sensor networks deployed on physical environments subject to emergency situations can be added to the simulation scenarios being created. A set of ontologies was devised to create powerful training simulation instances, such as different fire classes, different fire fighting techniques, specific rescue tactics, etc. A case study was implemented to validate the architecture. The results show that this system can be a powerful tool for the creation of complex training simulations.

1. Introduction

Simulation modeling, particularly those aimed at training situations, such as emergency actions by Special Forces (e.g., police and fire fighters) are not trivial to build. By having control over a simulation, in real-time, a specialist user, such as a fire fighter commander, can add and/or remove existing objects in the simulation, as well as change existing object properties, making the application a flexible environment to train human capabilities on different equipments and situations. Response to emergency standard tactics must also be followed by trainees.

In order to make it easier and faster for safety specialists/trainers to model virtual environments for training simulations, without the need for programmers, a supporting architecture was devised, which uses a set of ontologies to instantiate different training scenarios. The scenarios include training on life saving, assets saving and equipment use in different types of emergency: fire, explosions, gas or toxic substance leaking. The ontologies are fed by safety specialists – they are useful to structure the simulation entities (objects that are important to the application) and the simulation model itself. Real events can be used as part of the scenarios. The

events are collected from physical environments, which are continuously monitored by sensor networks. These events are submitted to different interpretation levels (aggregation, correlation, incident and accident interpretations) and recorded in a database to be used for at least two purposes: post evaluation of incidents and accidents and for the creation of simulation scenarios as close to reality as possible.

This paper describes the devised supporting architecture and the respective ontologies. The paper is organized as follows: Section 2 introduces ontology concept and its use for simulation modeling and analysis. Section 3 presents the five emergency ontologies devised for training simulation creation and execution. A description of our architecture to support the creation and execution of training simulations is given in Section 4. A case study is described in Section 5, followed by related work in Section 6. Section 7 describes the current status of the work, followed by Conclusions and Bibliographic References.

2. Using Ontologies for Simulation Modeling and Analysis

According to Chung [1], training simulations are also models of existing or proposed systems, but contrary to typical simulation models, the resources and operational policies decision making are not made beforehand. Outputs are observed not only at the end of the simulation run, but also during it. This allows the users to see the impact of their decisions on the simulation environment in real-time. In the simulations created by our architecture, any safety specialist (trainer) will be able to create simulation scenarios. Avatars, objects and events can be added to the scenario so that the trainees can be able to practice their knowledge making decisions through their avatars. For that, specific emergency preparedness and response rules for an emergency scenario have to be followed by the trainees. In order to create these scenario for different emergency situations (e.g., different fire fighting techniques), an architecture was devised that uses a set of ontologies as the knowledge base for the simulations.

According to Pérez [3], ontologies provide a domain common vocabulary and define the meaning of its terms and the relationship among them. In ontologies, the knowledge is

formalized through five component types: 1) Concepts and a hierarchy among these concepts, i.e., a taxonomy; 2) Relations: represent a type of interaction among the concepts of a domain; 3) Functions: a special case of relation in which a set of elements has a unique relation with another element; 4) Axioms: used to model sentences that are always true; and 5) Instances: used to represent elements.

Usually, ontology has to be formal enough to support automatic inference and ideally requires a community consensus [2]. Ontologies can provide a shared understanding on some knowledge that serves as a basis for communication, interoperability, reusability, reliability and system specification [4]. Ontologies have been acknowledged as a potential concept for simulation modeling and analysis [13][14][15]. However, to the best of our knowledge, none of the systems evaluated have defined a set of ontologies and integrated it to other concepts, such as *Nonlinear Interactive Storytelling*, compliance to HLA (High Level Architecture) reference model, compliance to X3D standard, which allows access to simulations through a 3D web browser, and so forth. Five ontologies were created as part of this work to represent the knowledge on emergency management: infrastructure, person, object, emergency and tactics. These ontologies were created using the web ontology language OWL, recommended by the W3C (*World Wide Web Consortium*) [8, 9] and are introduced in the next section.

3. Ontologies for Emergency Management

Five ontologies were identified as necessary for simulation modeling: infrastructure, person, object, emergency and tactics, as shown in Figure 1. These ontologies are described below.

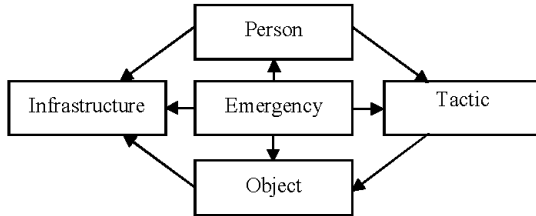


Fig 1. Ontologies for training simulation creation.

3.1 InfraStructure Ontology

This ontology supports the knowledge representation of physical locations, which contain safety measures against fire. These measures are used in constructions and risk surrounding areas safety projects against fire. They also contain the description of valuable objects part of the assets.

Figure 2 shows the general view of the infrastructure ontology. The concept *PatrimonialEquipment* is an object of the infrastructure ontology (*isa*), as well as the concepts *Place* and *SafetyMeasuresAgainstFire*.

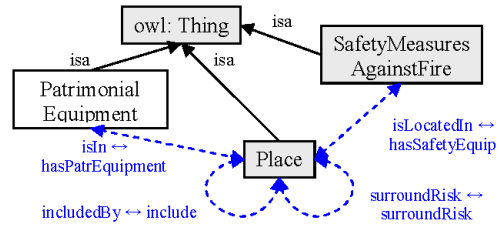


Fig 2. General view of the Infrastructure ontology. Each rectangle is a concept that represents a class in OWL. The shadowed rectangles are concepts that contain other concepts. The broken line arrows represent the classes relationships.

The physical locations can be simple or composed, i.e., they can include other locations, such as a plot of land or a building. They can also be included by some location, for example, a parking lot is included by a land plot and a room is included by a building – these terms are sub concepts of the Place concept. Some of the properties physical places have and that are important to rescue teams include: number of people, fire load and surrounding risks (physical places that are neighbors to the described place and that may or not be a potential risk in some emergency). From this ontology it is possible to research places next to a disaster area, such as a fire, and prevent further disaster due to relevant surrounding risks.

Safety measures against fire include passive protection equipments, such as fire extinguishers, manual fire bomb activators, pressure bomb register, water reservatory, main electrical key, emergency spot lights, alarm central, alarm systems batteries and sirens besides intermediary and final scape routes [5].

3.2 Person Ontology

This ontology expresses the Person concepts. A Person can be a common participant of a simulation activity or a specialist involved in an emergency rescue activity. The ontology contains Person properties, such as age, sex, posture (stand up, sat down, laid down), status (on the move, at a stand), if conscious or not and the person location on the infrastructure. Figure 3 shows the general view of the Person ontology.

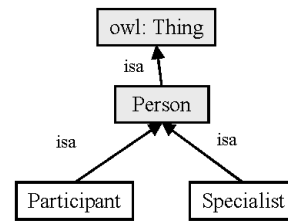


Fig 3. General view of Person Ontology.

3.3 Object Ontology

This ontology defines a set of concepts and properties for the representation of objects related to emergency preparedness and response. Examples include flashlights, diving cylinders, respiratory protection reserve equipment (RPE), RPE supports and masks, general rescue equipments.

3.4 Emergency Ontology

This ontology defines a set of concepts and properties related to emergency situations (incidents and accidents). An accident is defined here as a failures that can occur due to three causes: *ineptitude* (e.g., a person does not know how to fly an airplane), *imprudence* (e.g., a person knows how to fly an airplane but did not take due care); *negligence* (e.g., the person does not know how to fly an airplane and does not take due care). When the three causes described above are not present, then we might have incidents and the summation of incidents can lead to an accident (e.g., an airplane leaking hose leads to lack of fuel). The emergency ontology is being build with the help of both institutions: São Carlos city Fire Fighters and the Laboratory of Non-tripulated Air Vehicles of the State University of São Paulo Aeronautics Department. At the moment, only fire description has been developed to the Emergency Ontology, whose general view is shown in Figure 4. The emergency ontology is being integrated to fuzzy logic and bayesian networks what will be able to provide a more accurate evaluation of fire status.

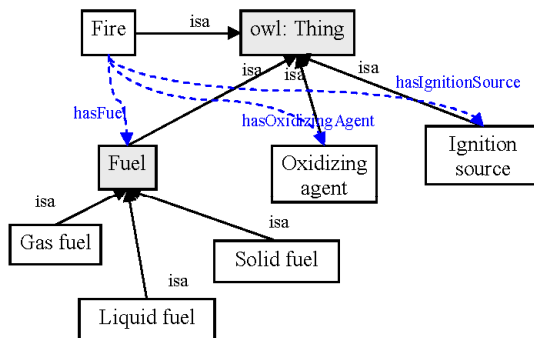


Fig 4. General view of the Emergency Ontology.

A fire is all and any combustion that is out of man's control. Combustion is a self-sustainable oxidation chemical reaction, with light, heat, smoke and gases release. For combustion to occur, it is necessary the presence of three elements: fuel, ignition source and oxidizing agent (usually oxygen) [10]. Besides the main properties of fire shown in Figure 4, other important forms of fire extinction are included in the emergency ontology, such as: Fire phase (initial phase, slow burning or free burning); fire classification (A, B, C or

D), occurrence of heat propagation forms (conduction, irradiation, convection) etc.

When parameters¹ are given to the Emergency ontology with information, for instance, on a certain room in a factory, such as temperature, presence of oxygen, type of material next to the sensor with highest temperature, etc., the application can answer questions of the following type: what is the type of fire? What is the best technique to be used? When the infrastructure ontology is used, other questions can be answered: What are the main risks? What are the surrounding risks? Etc.

3.5 Tactics Ontology

The tactics ontology defines a set of concepts and properties related to procedures and rules the rescue team has to follow. An example includes the necessary rules to the correct fire operation protocol, which follows the RICE protocol (initials for the following operations):

- **Rescue:** before starting the work, it is important to scan the disaster area to detect the presence of victims;
- **Isolation:** After rescuing the victims, the areas next to the fire are isolated to avoid fire propagation;
- **Confinement:** Fight against the focus of the fire;
- **Extinction:** Extermination of the fire;
- **Scalding:** Search for new focuses of fire that might become ignition sources;
- **Ventilation:** Procedures made to release smoke from the fire;
- **Protection of the salvaged:** After releasing smoke, cleaning and protection of items not affected by fire is necessary, besides the organization of the disaster area [6].

4. An architecture to support the creation of emergency management training simulations

Our training simulation supporting architecture is structured in three main modules: Simulation Instance Creation, Simulation Engine and a 3D Visualizer. A set of five integrated ontologies is used to create the simulation instances. A 3D geometric model database is used to build the virtual world used as the scenario for the simulation applications. A context database, containing real life events and contexts (events that are interpreted) collected from sensor networks and RFIDs tags deployed in physical environments can be used by a trainer to create simulation scenarios that are as close to real life environments as possible. A service middleware [18] provides different services to the application.

Figure 5 shows an overview of this architecture and part of the Service Middleware. A description of the main modules of our architecture is given below.

¹ These parameters can be collected, in real-time, from a deployed sensor network integrated to RFIDs (Radio Frequency IDs - tags that identify all important objects in a room). This information can be recorded in a database and used for simulation creation.

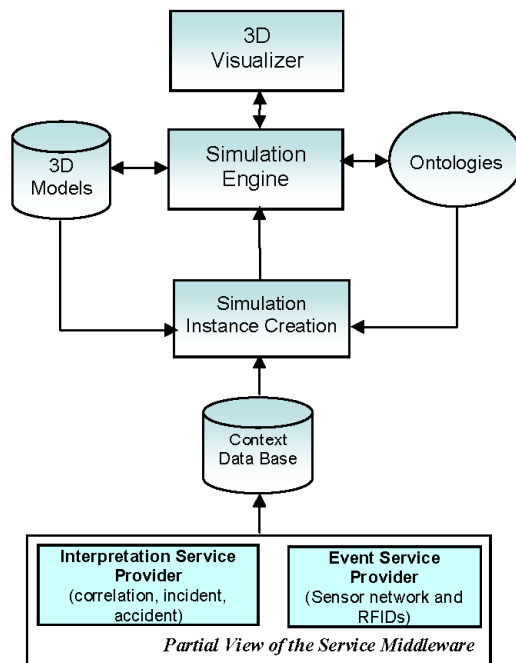


Figure 5. Main Modules of our Training Simulation Supporting Architecture.

4.1 Simulation Instance Creation Module

The **Simulation Instance Creation Module** is a complex piece of software that provides trainers (specialist) with a graphical interface to create different simulation scenario². The trainer can use existing 3D geometric models (building, persons and objects) to create a particular virtual world for his/her trainees. The infra structure ontology can be used to instantiate a particular physical location, with its corresponding safety measures against fire, risk surrounding areas and valuable assets. The tactics ontology can be used to instantiate a particular training protocol (people rescue in a paint factory fire accident for instance). To instantiate a certain type of fire, the trainer can use, through the *Simulation Instance Creation Module*, the *Emergency Ontology*. The trainer can add more realism by selecting events (raw data) and/or contexts (interpreted events) from a context data base. Context is defined in this paper as any information that is important to the application. These contexts can be added to the simulation scenario and programmed to occur at specific times.

² The simulations are created through the concept of *Nonlinear Interactive Storytelling*.

The simulations created by this Module comply with the HLA (*High Level Architecture*) reference model. The importance of having simulations complying with HLA is twofold: reuse and interoperability. The interaction between our *Simulation Instance Creation Module* and the HLA services is not shown in Figure 5 as a matter of simplicity. HLA was developed by the *Defense Modeling and Simulation Office – DMSO* aiming reuse and interoperability among simulations maintained by the USA Department of Defense (DoD). It was approved as an open IEEE standard in September 2000 [11].

4.2 The 3D Visualizer

This module is responsible for the visualization of the simulation. The 3D visualizer is built through an open standard and web-based framework that generates HLA compliant simulation visualization interfaces with support to control and management functionalities. This framework is described in [17]. The special characteristic of our 3D visualizer is its support to simulation control and management. By having control over a simulation, in real-time, a specialist user, such as a fire fighter commander, can add and/or remove existing objects in the simulation, as well as change existing object properties, making the application a flexible environment to train human capabilities on different equipments and situations. Management, on the other hand, can provide important statistics on the performance of humans and equipments in different simulation runs.

4.3. The Simulation Engine

The Simulation Engine is basically responsible for processing input not only from the user but also from the environment (events added to the simulation and scheduled to occur at a certain time) and responding to these inputs. The simulation engine also responds to user input on control and management (offered through the 3D visualizer).

4.4 The Service Middleware

A Middleware is being built (**MidSensorNet**) which offers services either directly provided by a sensor network integrated to RFIDs (Quality of service, synchronization, sensor set selection, event ordering, aggregation or derivation) or by additional services, such as adaptation, more complex context interpretation, context recording and playing etc. The MidSensor Net is described in [18]. Two of the MidSensorNet services are described in the next Sub-sections: The *Interpretation Service Provider* and the *Event Service Provider*.

4.4.1 Interpretation Service Provider

Context interpretation can be described as the set of methods and processes involving: manipulation, aggregation, derivation, inference and refinement of information that are important to the application. The main purpose of context

interpretation is basically to increase the level of information abstraction in order to help applications in the decision making process [7].

Ordering, Aggregation and Derivation are performed by the sensor network itself and the resulting data can be made available to the application through the *Event Service Provider*, which will be described in the next sub-section. More refined and complex interpretation involving co-relation and inference of contexts is made through consults to the Ontologies, specially the *Emergency Ontology*, described in Section 2.2.4 and which is being integrated to fuzzy and bayesian network for more accurate information interpretation. The interpreted information, which can result in incidents (e.g., leaking of toxic liquid near a kindergarten) and accident (e.g. fire starting) information is stored and made available to the application through the *Interpretation Service Provider*.

4.4.2 Event Service Provider

The **Event Service** is part of a Middleware, which provides service to a real-time monitoring system [18]. The event service is responsible for providing data from a sensor network integrated to RFIDs (*Radio-Frequency Identification*). The data is collected in real-time from a physical environment that can be subject to emergency situations. This data can be accessed in different levels of interpretation. The event level is the most basic one. The events are stored as raw data in a *Context Data Base*, with no data fusion or interpretation. In the second level, aggregation, derivation and ordering are performed to the events by the sensor network itself in order to filter out repeated or faulty data. These data can be added to a simulation scenario being created.

5. Ontologies Instantiation for use in Training Simulations: A case study

For our case study an industrial plant was used, which presents potential for fire accidents: a fry chip factory.

The infrastructure ontology is first instantiated with information on the industrial plant. The 3D model of the infrastructure is also necessary for the simulation (all available geometric models are kept in a 3D Models data base). In the Emergency ontology, required conditions for a fire to occur were instantiated by the trainer, such as specific fuel, ignition source and oxidizing agent (oxygen). All the above information is selected by the trainer through the *Simulation Instance Creation Module* (described in Section 3.2). In our case study, the emergency situation is a fire, having as its source the chip chopper (electric equipment). The fire triangle is generated by the combination of fuel (inflammable solid – the packing-cases next to the fire source), oxidizing agent (oxygen) and ignition source (short-circuit). The fire evolution will occur in phases: 1) Initial phase (small fire): the propagation occurs through *conduction* (heat transfer through a solid body from molecule to molecule); 2) Intermediary phase (medium fire – slow burning): it prevails convection

(heat transfer through the ascending movement of gas or liquid masses inside themselves); and 3) Final phase (large fire – free burning): presence of irradiation (heat transmission through heat energy waves traveling across space) [10].

After emergency instantiation, it follows people instantiation (for all those who will be part of the simulation), who in our case study comprises the fire fighting trainees and trainers. These people will be represented as avatars in the simulation virtual environment. A surrounding risk is added to this case study: a fire starts at the chip chopper in area 1. Close to area 1, there is a local for chip frying. In this case, the fire has an A type risk class, since it occurs on inflammable solids and the fire fighting can be made through water. However, if this water reaches the frying boiling oil (next to area 1), a boil-over explosion will occur (a phenomenon that happens due to the storage of water in the bottom of a container, under inflammable fuels – the water pushes the hot fuel upwards, which is spread and flung over large distances [10]). The boil-over phenomenon can cause serious injuries to the rescue team. In this case, mapping the surrounding risks (the chip frying tanks) is even more important than the main risk. The surrounding risks are instantiated from the *Infra structure Ontology*. The three main techniques of fire fighting are: 1) Cooling – the breakage of the fire triangle by removing the ignition source through the extinguisher agent (water); 2) Smothering: the breakage of the fire triangle by removing the oxidizing agent; and 3) Isolation: the breakage of the fire triangle by removing the fuel [10]. In this case the best techniques are cooling for the main risk and smothering for the boil-over. The situations described in this case study are being built through the pilot version of our architecture. All instantiations mentioned were successfully realized through our set of ontologies.

6. Related Work

There are not many systems for emergency management with the characteristics described in this paper. One of the best existing examples is the CommandSim Fire [12] which provides two editions: one to create interactive simulations (*CommandSim Fire IE - Instructor Edition*) and another to be used by training centers (*CommandSim Fire DE - Department Edition*). The Instructor Edition is a set of tools to help creating realistic training scenario to be used by trainers in training sessions. The Department Edition provides a ready environment to be used by trainers and trainees [12]. This software includes smoke, fire, vapor clouds effects, which can be created from photos and videos. It also contains interactive equipments for skill training, as well as samples of portable devices, fire control panel etc. The downside of this system is that the possible emergency scenarios that can be created are limited. Also, control and management functions are limited and visualization, as far as the authors are aware of, is possible only at desktop computer devices. On the other hand, the strong and innovative points of our system are: it provides a real life events database (collected from a sensor network integrated to RFIDs) that can be used in the

simulation scenario; it provides, through the ontologies different and complex instances that can be tailored to the specific trainers needs - depending on the knowledge base contained in the ontologies, emergency management training simulations for different manufacturing plants or physical environments, with different characteristics can be created: from a paint manufacturing plant to a petrol platform or an airplane. Another novel characteristic of our system is the visualization system, which is created through a framework (described in Section 3.3) that generates X3D technology. Thus, any device (including portable ones) with a Web3D browser can have access to the simulations. A description of the framework that generates X3D complied visualizers is given in [17].

7. Current Status of the Work

At the moment the Ontologies are being integrated to fuzzy and bayesian techniques³ in order to increase context interpretation accuracy as well as the complexity of the situations that can be represented. The simulation editor (part of the *Simulation Instance Creation Module*, described in Section 3.2), which is based on the Nonlinear Interactive Storytelling concept, is being developed, as an improvement of an earlier version implemented at our laboratory [16]. The main advance in this new version of the editor is its integration to the ontologies, and new 3D visualizer.

8. Conclusions

This paper describes a supporting architecture for emergency management training simulation, where different simulation sceneries can be instantiated through a knowledge base represented as a set of ontologies. The main goal of the described system is the rapid creation of different instances of powerful and complex training simulation by emergency specialists. For that, innovative techniques and concepts are used: real emergency situation events (in different interpretation levels), collected from a hybrid sensor network, can be added to the simulation scenarios; depending on the knowledge contained in the ontologies, different and complex instances can be tailored to the specific trainers' needs; the simulation editor, part of the architecture described, uses the novel *Nonlinear Interactive Storytelling* concept to provides non-computer programmer emergency specialists trainers with the power to build complex simulations; the visualization system complies to the X3D standard, which allows different devices (from portable cellular phones to digital caves), through a Web3D browser, to have access to the simulations. Although the system is being developed mainly for emergency management simulations, the architecture can also be tailored to be used by different simulation types. A case study was implemented to validate the architecture.

³ For that, collaboration with the Artificial Intelligence Group of the Computer Science Dept. at Federal University of Sao Carlos was established.

Bibliographic References

- [1] C. A. Chung. "Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach". CRC Press, 2004.
- [2] R. Vieira, D. S. Abdalla, D. M. Silva, e M. R. Santana. "Web Semântica: Ontologias, Lógica de Descrição e Inferência". In: *Web e Multimídia: Desafios e Soluções (WebMedia 2005 - Minicursos)*. 1 ed. Porto Alegre: SBC, 2005, v. 1, p. 127-167.
- [3] G. Pérez. "A. Ontological Engineering: A state of the art". *Expert Update. British Comp.Society*. v. 2, n. 3, p. 33-43. 1999.
- [4] M. Uschold, M.Gruninger. "Ontologies: Principles, methods and applications". *Knowledge Engineering Review*, v. 11, n. 2, p. 93-155, February 1996.
- [5] Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. "Decreto Estadual 46.076 - Regulamento de Segurança Contra Incêndio das Edificações e Áreas de Risco". Conjunto de normas utilizadas no Estado de São Paulo sobre regularização de edificações, São Paulo, SP, 2001.
- [6] Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. "Decreto Estadual 46.076 - Manual de Estratégia e Tática de Combate a Incêndio". Manual Técnico de Bombeiro, São Paulo, SP, 2006.
- [7] C. Z. Calvi. "Uma Plataforma de Suporte a Aplicações Móveis Sensíveis ao Contexto". Projeto Final apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2006.
- [8] M. K. Smith, C. Welty, D. L. McGuinness. "OWL Web Ontology Language Guide". W3C Recommendation 10 February 2004. Available in: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>.
- [9] S. Bechhofer, F. Harmelen, J. Hendler, I. Horrocks, D. L. McGuinness, P. F. Patel-Schneider, and L. A. Stein. "OWL Web Ontology Language Reference". W3C Recommendation 10 February 2004. Available em: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/>.
- [10] Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. "Manual de Fundamentos do Corpo de Bombeiros". 2ª ed., v. 00, São Paulo, SP, 2006.
- [11] N. D. H. Vieira, "Suporte a Ambientes Virtuais Colaborativos de Larga Escala em Redes Peer-to-peer, com Gerenciamento de Distribuição de Dados em Conformidade com o Padrão HLA". Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.
- [12] CommandSim, "Command Sim Fire". 2004-8. Disponível em: <http://www.commandsim.com>. Accessed in: February 2008.
- [13] P. Benjamin, M. Patki and R. Mayer, Using Ontologies for Simulation Modeling, Proc. of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, California, USA, December 3-6, 2006.
- [14] J. A. Miller, G. T. Baramidze, A. P. Sheth, and P. A. Fishwick, Investigating Ontologies for Simulation Modeling, Proceedings of the 37th annual symposium on Simulation, 2004.
- [15] Gregory Silver, Lee Lacy and John Miller. Ontology Based Representations of Simulation Models Following the Process Interaction World View. Proc. of the 2006 Winter Simulation Conf. Monterey, California, USA, December 3-6, 2006.
- [16] A. Boukerche, R. B. Araujo, D. D. Duarte and L. Andrade. A Novel Solution for the Development of Collaborative Virtual Environment Simulations in Large Scale. In: *IEEE Proceedings of the The 9-th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications*, 2005, v. 9, p. 1-8.
- [17] R.B.Araujo, A. Boukerche, E. Pizzolato, F. M. Iwasaki. A Framework to Generate HLA Compliant Visualization Federates through Web Services and X3D. Submitted to the X Symposium on Virtual and Augmented Reality - UFPB - João Pessoa/PB, May 13 to 16, 2008.
- [18] R.B.Araujo, L. A. Villas e J. E. Ribeiro. MidSensorNet: A Service Middleware to Emergency Management. Internal Technical Report. February, 2008 (in Portuguese).

APÊNDICE C - Um Serviço de Interpretação de Contexto para Redes de Sensores Sem Fio no Domínio do Gerenciamento da Emergência (II Workshop on Pervasive and Ubiquitous Computing - WPUC (Evento paralelo ao SBAC-PAD), 2008)

Um Serviço de Interpretação de Contexto para Redes de Sensores Sem Fio no Domínio do Gerenciamento da Emergência

Regina B. Araújo¹, Rafaela V. Rocha¹, Márcio R. Campos¹, Azzedine Boukerche²

¹Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil; ²SITE, University of Ottawa, Ottawa, Canadá

{regina, rafaela_rocha, marcio_campos}@dc.ufscar.br

Abstract

When wireless sensor networks - WSN are deployed on physical environments for monitoring purposes, a great challenge is to interpret correctly and efficiently what the network perceives from the environment. This paper proposes a context interpretation service that integrates ontologies and fuzzy logic to provide more complete information about what is happening on a physical environment subject to emergency situations. This service is part of a QoS-based middleware, which tunes the WSN according to the application requirements. These requirements are guided by the output of the interpretation service. A concept proof on a real industrial plant is used to validate the service.

1. Introdução

Redes de sensores sem fio estão sendo utilizadas cada vez mais como poderosas ferramentas de monitoramento em ambientes sujeitos a situações críticas de risco à vida e ao patrimônio, tais como incêndios, vazamentos de gases tóxicos e explosões. Sistemas de gerenciamento da emergência que integram redes de sensores sem fio vêm sendo utilizados como apoio à tomada de decisão para equipes de resposta a emergências em que o tempo-resposta nessas condições torna-se fator preponderante visando o sucesso de operações práticas de salvamento.

O monitoramento de ambientes reais sujeitos a situações de emergência é importante para que as equipes de segurança e de resgate saibam o que está ocorrendo em situações de risco, e possam tomar as melhores medidas em atividades de salvamento e resgate. Para que o monitoramento em tempo-real seja eficaz é necessário que os dados capturados por sensores no ambiente físico sejam interpretados de forma correta e rápida. A interpretação de contextos pode ser simples para tratar ambigüidades e repetição

de informação ou bastante complexa envolvendo a correlação de diferentes eventos e contextos.

Em nosso trabalho um serviço de interpretação de contexto foi projetado e implementado contendo uma base de conhecimento formada pela integração de ontologias e por um sistema de inferência fuzzy. A principal característica do nosso serviço é fornecer informações adicionais sobre o fenômeno sendo observado, como por exemplo, riscos vizinhos. A base de conhecimento foi gerada com a ajuda de especialistas no domínio de preparação e resposta a emergências. De modo a validar o serviço de interpretação proposto e implementado como ferramenta de auxílio em palcos emergenciais, fizemos uso de uma prova de conceito utilizando uma planta industrial real.

Este serviço de interpretação é integrado a uma rede de sensores sem fio que realiza fusão de dados dentro da própria rede. Os dados fundidos são entregues a nós sorvedouros conectados à Internet. Esses dados são publicados para os serviços interessados, os quais se inscrevem para recebê-los. Um dos serviços interessados, Interpretação de Contexto, interpreta esses dados e indica à aplicação o que foi percebido da rede para que ações possam ser tomadas. A comunicação entre os serviços do Middleware e a RSSF e também entre o Middleware e a aplicação é feita por meio de serviços web. Algumas ações podem ser tomadas pela própria rede, por meio de ativação de nós atuadores. A rede de sensores sendo considerada é integrada a etiquetas RFIDs (*Radio Frequency Identification*), nós atuadores, além de veículos aéreos não tripulados (quando o monitoramento é realizado em extensas áreas geográficas). Este projeto é parte de um projeto maior que integra as áreas de computação ubíqua, redes de sensores sem fio, simulação e interfaces fora do desktop para a criação de novas técnicas, métodos e soluções para o monitoramento complexo de ambientes físicos.

O artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 descreve as características de nosso

middleware. A seção 3 apresenta o nosso serviço de interpretação de contexto. Os trabalhos relacionados são descritos na seção 4. A seção 5 apresenta a prova de conceito e os resultados obtidos, seguido de Conclusões e Referências Bibliográficas.

2. Middleware de suporte a sistemas de gerenciamento da emergência

Um projeto que visa a pesquisa de métodos, técnicas e soluções para o monitoramento de ambientes físicos cientes de contexto no domínio do gerenciamento da emergência está sendo desenvolvido como resultado de uma colaboração entre o Laboratório de Realidade Virtual em Rede (LRVNet) do Departamento de Ciência da Computação da UFSCar, o Paradise Lab do SITE da Universidade de Ottawa e o Laboratório de Veículos Aéreos não Tripulados do Departamento de Materiais, Automobilística e Aeronáutica da USP-SC.

A visualização em tempo-real de incidentes em progresso, por meio de interfaces multimídia e de interfaces não convencionais (realidade virtual, realidade aumentada) em dispositivos que vão de celulares a cavernas digitais é um aspecto importante de um sistema de monitoramento em tempo-real de ambientes físicos sob risco de incidentes e acidentes. A gravação dos eventos que ocorreram no ambiente físico, bem como a gravação do ambiente virtual em 3D que representa o ambiente físico e os incidentes correspondentes para posterior acesso são necessidades particulares de sistemas deste tipo. São mostrados na figura 1 os principais serviços de um Middleware sendo construído para atender os requisitos de sistemas de gerenciamento da emergência. Um dos objetivos principais desses sistemas é perceber o que a rede de sensores tem a dizer, para que o usuário possa tomar decisões a partir deste conhecimento. Os serviços são descritos a seguir:

- **Serviço de Interpretação de Contexto:** é responsável por receber subscrições de aplicações que se interessam por um nível mais refinado de informações. Esse serviço utiliza uma base de conhecimento para alcançar tal requisito. Essa base de conhecimento é composta por ontologias e regras *fuzzy*, na qual possuem mecanismos capazes de oferecer uma informação mais rica sobre o evento ocorrido.
- **Serviço de Gravação:** esse serviço se inscreve para receber notificação de dados oriundos da rede de sensores ou de outros serviços. Esse serviço tem como objetivo gravar dados de fusão de baixo nível (agregação) e dados já refinados pelo serviço de Interpretação de Contexto. O serviço de

gravação envia esses dados a um banco de dados de contexto.

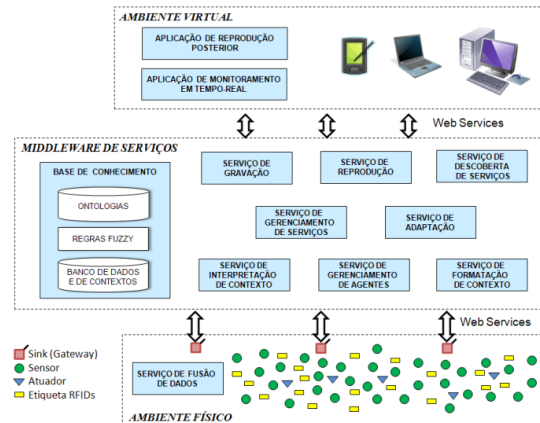


Figura 1. Visão Geral do Middleware de Serviços.

- **Serviço de Descoberta de Serviços:** tem como objetivo prover a descoberta de serviços internos e externos a RSSF. O serviço de descoberta interna visa registrar e fornecer todos os serviços disponíveis. O nível externo de descoberta de serviços é utilizado por uma aplicação cliente para descobrir quais RSSF fornecem os serviços desejados pela aplicação e como acessar tais serviços. Esse serviço está associado com a tecnologia de Serviços Web. Por exemplo, um sorvedouro possui um documento WSDL descrevendo os serviços disponíveis assim como as assinaturas dos serviços, parâmetros de entrada, saída, etc. O sorvedouro então anuncia os serviços do sistema a um registro UDDI. Dessa forma, qualquer aplicação ou serviço pode requisitar algum serviço disponibilizado pelo sistema.
- **Serviço de Reprodução:** é responsável por notificar as aplicações que desejam reproduzir o que aconteceu no ambiente em um determinado tempo. Ele consulta os eventos na base de dados e notifica a aplicação na ordem de seqüência que eles aconteceram.
- **Banco de Dados de Contexto:** responsável pelo armazenamento de dados de contexto em diferentes níveis de interpretação. Nível de fusão: agrega os dados capturados por sensores no ambiente físico. Nível de interpretação de contexto: interpreta os dados a partir de inferências em base de conhecimento que integra ontologias e regras *Fuzzy* (outras formas de inferência podem ser integradas a esta base de conhecimento).

- **Serviço Formatador de Contexto:** responsável pela formatação dos dados oriundos da rede, convertendo-os em representações de ontologias (OWL), para que contextos possam ser compartilhados e reusados por outros componentes de serviços.
- **Serviço de Gerenciamento de Serviço:** responsável por coordenar o fluxo de execução dos serviços solicitados pelas aplicações.
- **Serviço de Adaptação:** responsável por executar adaptações na rede e nos dispositivos de visualização de acordo com as capacidades dos mesmos.
- **Serviço de Gerenciamento de Agentes:** responsável por coordenar e gerenciar o ciclo de vida de agentes móveis e estáticos que são utilizados na RSSF. Funções: criar e destruir agentes, prover guias de endereços, manter diretório de identificadores de agentes (AID) e autenticar agentes.

Para a captura e entrega de eventos da RSSF foram desenvolvidos algoritmos e protocolos tolerantes a falhas, cientes de consumo de energia, baixa latência, seguros, com qualidade de serviço e etc; Foram desenvolvidos protocolos que atendem requisitos não funcionais para aplicações de monitoramento de condições de emergência, entre os quais estão o de agregação, ordenação e fusão de informações.

A próxima seção descreve o conceito de contexto e a base de conhecimento criada para a interpretação de contexto em nosso sistema.

3. Serviço de Interpretação de Contexto

Contexto é considerado aqui como toda informação sobre o ambiente que seja importante para a aplicação e que possa caracterizar a situação de uma entidade [3]. Sensores capturam eventos. Os contextos são compostos de eventos relacionados. Os contextos podem ser muito simples quando referenciados a um único evento, como temperatura, pressão atmosférica ou presença de fumaça, ou mais complexos quando compostos por dois ou mais eventos relacionados, tais como a ocorrência de incêndios (uma combinação de eventos relacionados: “aumento de temperatura”, “presença de oxigênio” e “presença de material combustível”).

A interpretação de contexto pode ser descrita como um conjunto de métodos e processos que envolve manipulação, agregação, derivação, inferência e refinamento de informações que são importantes para a aplicação. O principal objetivo da interpretação de contexto é basicamente aumentar o nível de

informação e abstração a fim de ajudar a aplicações no processo de tomada decisória [4].

A partir da interpretação de contexto, por exemplo, em uma ocorrência de incêndio, a aplicação deverá responder a perguntas que são importantes para a equipe de combate e resgate a emergências, tais como: 1) Qual o tipo de incêndio?; 2) Qual a melhor técnica para combatê-lo? (água, espuma, CO₂, abafamento); 3) Qual é o risco principal?; 4) Quais são os riscos vizinhos?. As respostas a estas perguntas em nosso trabalho são obtidas de bases de conhecimentos representadas na forma de ontologias e lógica fuzzy.

Ontologia pode ser definida como a descrição do conhecimento seguindo alguns princípios básicos como a identificação dos conceitos do domínio, da hierarquia de conceitos, das propriedades e de seus relacionamentos, de forma que reflitam uma realidade [5]. Ontologias podem proporcionar uma compreensão partilhada por alguns conhecimentos que serve como base de comunicação, interoperabilidade, reusabilidade, confiabilidade e especificação do sistema [6].

As ontologias identificadas nas situações de emergência, utilizadas em nosso trabalho, são cinco: 1) infra-estrutura: conceitos e propriedades de lugares físicos e dos equipamentos de segurança existentes; 2) pessoa: conceitos e propriedades de pessoas que podem ser vítimas ou especialistas no combate a emergência; 3) objeto: conceitos e propriedades de equipamentos de proteção utilizados por especialistas e materiais de salvamento em geral; 4) emergência: representação do conhecimento sobre situações de emergência; e 5) tática: representação do conhecimento de regras que a equipe de resgate tem que seguir. As ontologias são descritas com informações detalhadas em [7]. Essas ontologias fornecem uma base de conhecimento aos palcos emergenciais, mas não tratam de algumas transições entre as etapas, por exemplo, as encontradas num incêndio. Para tratar dessas áreas de transições abordamos a lógica fuzzy que permite resultados satisfatórios para tomadas decisórias.

L.A. Zadeh criou a teoria dos conjuntos fuzzy objetivando apresentar ferramental matemático em informações ditas vagas ou imprecisas [8]. Inicialmente a lógica fuzzy foi construída a partir de conceitos da lógica clássica, e posteriormente foram criados operadores semelhantes aos tradicionais, que durante o tempo foram aumentados por necessidades práticas.

A nossa base de conhecimentos é composta por um conjunto de regras fuzzy e ontologias. As ontologias também contêm informações importantes para compor os conjuntos fuzzy.

O nosso serviço de interpretação de contexto utiliza uma base de conhecimento descrita por ontologias,

utilizando a linguagem de descrição de ontologias OWL [12], e regras fuzzy para interpretação de informações coletadas de sensores espalhados no ambiente físico. A interpretação é realizada a partir da consulta de instâncias nas ontologias e da inferência realizada pelo sistema de inferência fuzzy nas regras fuzzy. Na Figura 2 é mostrada uma visão geral do serviço com a descrição de algumas informações de entradas e alguns resultados obtidos na saída.

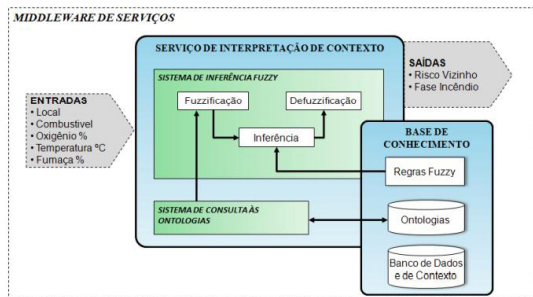


Figura 2. Visão Geral do Serviço de Interpretação de Contexto.

As ontologias foram implementadas utilizando o Jena2 [13], Framework java para Web semântica, e a linguagem de consulta RDQL [14], uma das linguagens de consulta usadas pelo Jena2. As regras e inferências Fuzzy foram implementadas usando o fuzzyJToolkit [15].

Na próxima seção são apresentadas duas arquiteturas de aplicações cientes de contexto que utilizam ontologias para descrever as informações de contexto e seus inter-relacionamentos.

4. Trabalhos Relacionados

A arquitetura CoBra (Context Broker Architecture) é uma arquitetura baseada em agentes para suporte à computação sensível ao contexto em espaços inteligentes, tais como: salas, veículos, escritórios e salas de reuniões [9]. Nestes espaços são inseridos sistemas inteligentes que proporcionam serviços de computação pervasiva para os usuários. O núcleo da arquitetura CoBra é formada por um negociador de contexto (Context Broker) que é constituído de quatro componentes funcionais: base de conhecimento de contexto, motor de inferência de contexto, módulo de aquisição de contexto e módulo de gerenciamento de privacidade. O negociador de contexto mantém e gerencia um modelo de contexto compartilhado ao lado de uma comunidade de agentes. Estes agentes podem ser aplicações hospedadas em dispositivos móveis que um usuário leva ou usa (telefone celular, PDA, fone de ouvido), serviços que são fornecidos por dispositivos em uma sala (projeter multimídia, controlador de

iluminação, controlador de temperatura) e serviços Web que fornecem uma presença Web para pessoas, lugares e coisas do mundo físico (serviços que mantêm rastro de pessoas e paradeiro de objetos).

Na arquitetura do middleware SOCAM (Service Oriented Context Aware Middleware) os Provedores de Contexto são responsáveis por adquirir informações de contexto, dividindo-se em Provedores de Contexto Externo, que obtêm informações a partir de fontes externas como servidores remotos, e Provedores de Contexto Interno, que recuperam as informações de sensores [10]. Os Provedores de Contexto são publicados como serviços em um registro de serviços local. O Serviço de Localização de Serviço é responsável pela publicação e descoberta dos serviços. As informações de contexto adquiridas a partir dos provedores são convertidas em ontologias e repassadas para o Interpretador de Contexto, para serem interpretadas. Essas informações utilizadas são mantidas no Banco de Dados de Contexto e podem ser recuperadas e utilizadas posteriormente. Todos esses componentes servem de base para a execução dos chamados Serviços Cientes de Contexto, que podem ser aplicações, agentes ou serviços que fazem uso de informações de contexto e reagem às mudanças no mesmo.

Na próxima seção é apresentada uma prova de conceito realizada para a validação do nosso serviço de interpretação de contexto.

5. Prova de Conceito e Resultados

Em nosso trabalho abordamos a ocorrência de incêndio em plantas industriais com grande risco de explosões (flash over e backdraft, descritos a seguir) a partir da ocorrência de um incêndio. Uma explosão é um fenômeno acompanhado de rápida expansão de um sistema de gases, seguida de uma rápida elevação na pressão; seu principal efeito é o desenvolvimento de uma onda de choque com ruído [11]. Para que um incêndio ocorra é necessária a presença de três elementos em condições ideais: combustível, comburente (geralmente o oxigênio) e fonte ignição (calor). Esses três elementos formam o triângulo do fogo [11]. A evolução do incêndio ocorre em três etapas: 1) Fase inicial; incêndio pequeno; 2) Queima livre: incêndio médio; 3) Queima lenta: grande incêndio [11]. Dependendo da etapa do incêndio pode haver um tipo diferente de explosão, conforme é mostrado na Figura 3.

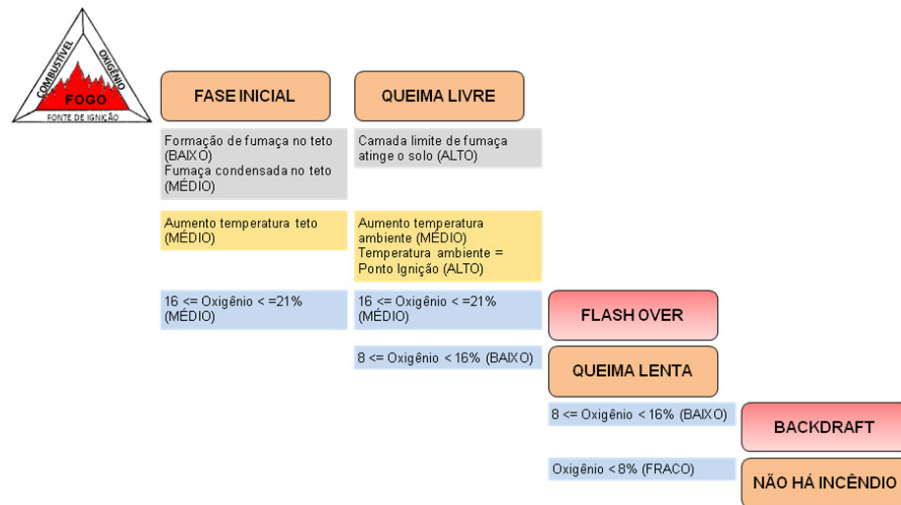


Figura 3. Evolução do incêndio.

A atmosfera é composta por 21% de oxigênio. Em ambientes com a composição normal do ar, a queima desenvolve-se com velocidade e de maneira completa e notam-se chamas [11]. Havendo uma oxigenação adequada com semelhante elevação da temperatura, o incêndio poderá progredir para uma ignição súbita generalizada (flash over). Contudo, a combustão consome o oxigênio do ar num processo contínuo e quando a porcentagem do oxigênio do ar ambiente passa de 21% para a faixa compreendida entre 16% e 8%, a queima torna-se mais lenta, surgem brasas e não mais chamas. Se a oxigenação é inadequada (incêndio controlado pela falta de ventilação) e a temperatura permanece em elevação, poderemos progredir para uma ignição explosiva (backdraft) caso ocorra uma entrada brusca de oxigênio. Quando o oxigênio contido no ar do ambiente atinge concentrações menores de 8%, a combustão deixa de existir.

Em nosso serviço de interpretação de contexto, as fases do incêndio foram mapeadas em conjuntos e regras fuzzy. Assim é possível consultar qual o grau de pertinência das fases do incêndio e a possibilidade de risco de explosão, a partir da entrada de informações de temperatura, quantidade de oxigênio e quantidade de fumaça presente no local da ocorrência do acidente.

A ontologia Infra-Estrutura foi instanciada com as informações de uma planta industrial conforme é mostrado pela Figura 4. A ontologia Emergência foi instanciada uma situação de incêndio, tendo como origem um curto-circuito no picador de batatas (equipamento elétrico). O triângulo do fogo é gerado pela combinação: caixas de madeira (combustível sólido) próximas ao picador de batatas, oxigênio (comburente) e curto-circuito (fonte de ignição).

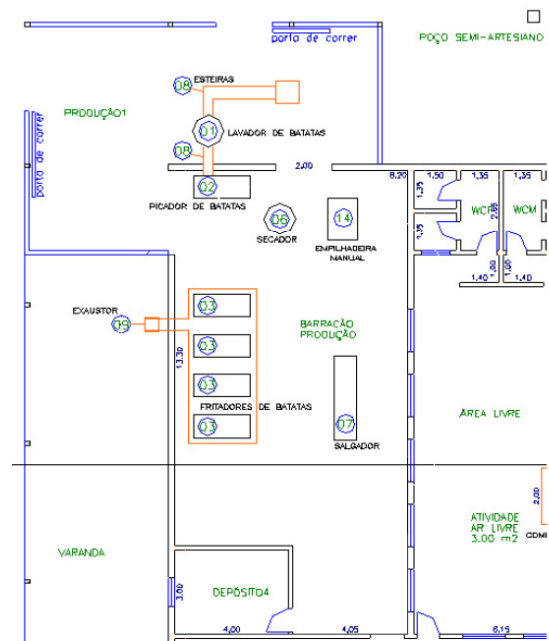


Figura 4. Planta industrial utilizada no estudo de caso.

É possível consultar a ocorrência de riscos vizinhos na ontologia Infra-estrutura, como por exemplo, ao da PRODUÇÃO 1 que pode ser vista no exemplo abaixo.

Risco Vizinho de Producao1: Varanda; AreaLivre; Recepcao; WCF; Deposito4;

Com as entradas de valores para oxigênio, temperatura e fumaça, o local e o tipo de combustível

presente são consultados o ponto de fulgor e o ponto de ignição do combustível na ontologia da Emergência para criar os conjuntos fuzzy da variável temperatura para a inferência nas regras fuzzy da fase do incêndio. Logo após é consultado a fase atual do incêndio. Um exemplo de valores para essa consulta pode ser visto no exemplo abaixo.

| |
|---|
| Oxigênio: 18.0% - Temperatura: 230.0°C - Fumaça: 80.0% - Combustível: Madeira Fase do incêndio: FASE INICIAL COM 8.813852581642593% e QUEIMA LIVRE COM 91.18614741835741% |
|---|

6. Conclusões

Este artigo apresenta um Serviço de Interpretação de Contexto que integra ontologias e lógica fuzzy para melhor interpretar informações que são percebidas de um ambiente físico sujeito a situações de emergência. Este serviço é parte de um Middleware de suporte a sistemas complexos de Monitoramento que podem ser usados por especialistas em segurança e forças policiais como ferramenta de apoio para tomadas de decisão.

Sistemas que potencializam a tomada de decisões não evitarão a incidência de futuros acidentes, mas podem amenizar e fornecer qualidade às pessoas, equipamentos, edificações ou ambientes que necessitam do devido e necessário resguardo.

Agradecimentos

Este projeto está sendo financiado pela Fapesp, processo 2006/00741-7 e processo 04/09275-3 (projeto Multiusuário - Caverna Digital). O projeto conta também com a colaboração do Corpo de Bombeiros de São Carlos.

Referências

- [1] A. R. Lopes, "Projeto de um Ambiente 3D de Visualização e Reprodução de Eventos Capturados e Interpretados a Partir de Ambientes Físicos Cientes de Contexto para Aplicações de Preparação para Emergência". Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.
- [2] R.B.Araujo, L. A. Villas e J. E. Ribeiro. MidSensorNet: A Service Middleware to Emergency Management. Internal Technical Report. February, 2008 (in Portuguese).

[3] A. K. Dey. "Understanding and Using Context". Personal and Ubiquitous Computing, p. 4-7, Londres, Reino Unido, 2001.

[4] C. Z. Calvi. "Uma Plataforma de Suporte a Aplicações Móveis Sensíveis ao Contexto". Projeto Final apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2006.

[5] R. Vieira, D. S. Abdalla, D. M. Silva, e M. R. Santana, "Web Semântica: Ontologias, Lógica de Descrição e Inferência". In: Cesar Teixeira; Eduardo Barrere; Iran Abraão. (Org.). Web e Multimídia: Desafios e Soluções (WebMedia 2005 - Minicursos). 1 ed. Porto Alegre: SBC, 2005, v. 1, p. 127-167.

[6] M. Uschold, M.Gruninger. "Ontologies: Principles, methods and applications". Knowledge Engineering Review, v. 11, n. 2, p. 93-155, February 1996.

[7] R. B. Araujo; R. V. Rocha; M. R. Campos; A. Boukerche. "Creating Emergency Management Training Simulations through Ontologies Integration". In: The 2008 Workshop on Advanced Computing for Critical Systems and Emergency Preparedness and Response - Co-located with IEEE 11th Intl Conf. on Comp. Science and Engineering, 2008, São Paulo. Proceedings of the IEEE 11th Intl Conf. on Computational Engineering (CSE-2008), 2008.

[8] L. A. Zadeh. "Fuzzy Sets". Information and Control, V. 8: 338-353, 1965.

[9] H. Chen. "An Intelligent Broker Architecture for Pervasive Context-Aware Systems". Ph.D. Thesis. University of Maryland, USA, 2004.

[10] Gu Tao et al. "A Middleware for Building Context-Aware Mobile Services". In: Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, Milan, Italy, 2004.

[11] Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. "Manual de Fundamentos do Corpo de Bombeiros". 2ª ed., v 00, São Paulo, SP, 2006.

[12] M. K. Smith; C. Welty; D. L. McGuinness. OWL Web Ontology Language Guide. W3C Recommendation 10 February 2004. <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>>, 2008.

[13] Jena. A Semantic Web Framework for Java. Hewlett-Packard Development Company LP. <<http://jena.sourceforge.net/>>, 2008.

[14] A. Updated February 2004. <<http://jena.sourceforge.net/tutorial/RDQL/>>, 2008.

[15] National Research Council of Canada, Institute for Information Technology. NRC FuzzyJ Toolkit for the Java. <http://ai.iit.nrc.ca/IR_public/fuzzy/fuzzyJToolkit.html>, 2008.

APÊNDICE D – Ontologia Infra-Estrutura

```

?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xml:base="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl">
  <owl:Ontology rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl"/>
  <owl:Class rdf:ID="DetectoresLinearesProtecao">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="SistemaDeteccaoAlarme"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="EquipamentoContraIncendio">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty>
          <owl:TransitiveProperty rdf:ID="estaEm"/>
        </owl:onProperty>
        <owl:allValuesFrom>
          <owl:Class rdf:ID="Lugar"/>
        </owl:allValuesFrom>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="M-Especial">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="OcupacaoEdificio"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="DetectoresLineares">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="ExtintoresSobreRodas">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Extintores"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="DetectoresPontuais">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="ParaRaio">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="SistemaPassivo"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Outros">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="ExtintoresPortateis">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Extintores"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="L-Explosivos">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Complementos">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="DetectoresPontuaisEntreFerro">

```

```

<rdfs:subClassOf>
  <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="G-ServicoAutomotivoEAssemelhados">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Nebulizadores">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:ID="SistemaFixoExtincao"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="ProdutosPerigosos">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:ID="Riscos"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="AberturaProtegida">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaPassivo"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="LugarSimples">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty>
        <owl:SymmetricProperty rdf:ID="inclui"/>
      </owl:onProperty>
      <owl:cardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int">
        >0</owl:cardinality>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty>
        <owl:SymmetricProperty rdf:ID="incluidoPor"/>
      </owl:onProperty>
      <owl:allValuesFrom>
        <owl:Class rdf:ID="LugarComposto"/>
      </owl:allValuesFrom>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  </rdfs:subClassOf>
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:ID="LugarSimplesNaEdificacao"/>
        <owl:Class rdf:ID="LugarSimplesForaEdificacao"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </owl:equivalentClass>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="DetectoresPontuaisEmArmario">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Antipanico">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaPassivo"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Tanques">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:ID="VazosETanques"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="RotasDeFuga">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>

```

```

</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="SistemalluminacaoEmergencia">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="VasoPressao">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#VazosETanques"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="DetectoresPontuaisProtecao">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Estacionamento">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesForaEdificacao"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="CentralGLP">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#VazosETanques"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="J-Deposito">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="D-ServicoProfissional">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Sala">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesNaEdificacao"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Extintores">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="IluminacaoEmergencia">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemalluminacaoEmergencia"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="C-Comercial">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Shafts">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaPassivo"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="SistemaHidrantes">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaPassivo">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="AreaDepositoGas">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesForaEdificacao"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="SistemaEspuma">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaFixoExtincao"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="E-EducacionalECulturaFisica">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>

```

```

<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
  <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimples"/>
  <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarComposto"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</owl:equivalentClass>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty>
      <owl:TransitiveProperty rdf:ID="temEquipamentoPatrimonial"/>
    </owl:onProperty>
    <owl:allValuesFrom>
      <owl:Class rdf:ID="EquipamentoPatrimonial"/>
    </owl:allValuesFrom>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty>
      <owl:SymmetricProperty rdf:ID="temEquipamentoContraIncendio"/>
    </owl:onProperty>
    <owl:allValuesFrom rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoPatrimonial">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty>
        <owl:TransitiveProperty rdf:ID="estaLocalizado"/>
      </owl:onProperty>
      <owl:allValuesFrom rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="DetectoresLinearesEntreFerro">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Outros-Outros">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Outros"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="InstalacaoEletrica">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:ID="SistemaEletrico"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Edificacao">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:allValuesFrom>
        <owl:Class rdf:ID="Terreno"/>
      </owl:allValuesFrom>
      <owl:onProperty>
        <owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#incluidoPor"/>
      </owl:onProperty>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:allValuesFrom>
        <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesNaEdificacao"/>
      </owl:allValuesFrom>
      <owl:onProperty>
        <owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#inclui"/>
      </owl:onProperty>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>

```



```

<rdfs:subClassOf>
  <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarComposto"/>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="CargalIncendio">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
        <CargalIncendio rdf:ID="Risco_Medio">
          <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
            >Entre 300 e 1200MJ/m2</rdfs:comment>
        </CargalIncendio>
        <CargalIncendio rdf:ID="Risco_Alto">
          <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
            >Acima de 1200MJ/m2</rdfs:comment>
        </CargalIncendio>
        <CargalIncendio rdf:ID="Risco_Baixo">
          <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
            >ate 300MJ/m2</rdfs:comment>
        </CargalIncendio>
      </owl:oneOf>
    </owl:Class>
  </owl:equivalentClass>
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >Carga de Incêndio MJ/m2</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Dampers">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaPassivo"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="DetectoresPontuaisEntrePiso">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#VazosETanques">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="I-Industria">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Escadaria">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesNaEdificacao"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaFixoExtincao">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="A-Residencial">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="B-ServicoHospedagem">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="AlturaEdificio">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
        <AlturaEdificio rdf:ID="IV-Edificacao_Media_Altura">
          <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
            >12,00 m &lt; H &lt;= 23,00 m</rdfs:comment>
        </AlturaEdificio>
        <AlturaEdificio rdf:ID="I-Edificacao_Terrea">
          <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
            >Um pavimento</rdfs:comment>
        </AlturaEdificio>
        <AlturaEdificio rdf:ID="VI-Edificacao_Alta">
          <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
            >Acima de 30,00 m</rdfs:comment>
        </AlturaEdificio>
        <AlturaEdificio rdf:ID="III-Edificacao_de_Baixa-Media_Altura">

```

```

<rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>6,00 m &lt; H &lt;= 12,00 m</rdfs:comment>
</AlturaEdificio>
<AlturaEdificio rdf:ID="V-Edificacao_Mediamente_Alta">
<rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>23,00 m &lt; H &lt;= 30,00 m</rdfs:comment>
</AlturaEdificio>
<AlturaEdificio rdf:ID="II-Edificacao_Baixa">
<rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>H &lt;= 6,00 m</rdfs:comment>
</AlturaEdificio>
</owl:oneOf>
</owl:Class>
</owl:equivalentClass>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="DetectoresLinearesEmArmarios">
<rdfs:subClassOf>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Corredor">
<rdfs:subClassOf>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesNaEdificacao"/>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Riscos">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno">
<rdfs:subClassOf>
<owl:Restriction>
<owl:allValuesFrom>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesForaEdificacao"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesNaEdificacao"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</owl:allValuesFrom>
<owl:onProperty>
<owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#inclui"/>
</owl:onProperty>
</owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
<owl:Restriction>
<owl:allValuesFrom>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
</owl:allValuesFrom>
<owl:onProperty>
<owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#incluidoPor"/>
</owl:onProperty>
</owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarComposto"/>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Direcionamento">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#RotasDeFuga"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="SistemaGasCarbonico">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaFixoExtincao"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="SistemaAlarme">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>

```

```

</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Elevadores">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaPassivo"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesNaEdificacao">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimples"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao"/>
      <owl:onProperty>
        <owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#incluidoPor"/>
      </owl:onProperty>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarComposto">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao"/>
        <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </owl:equivalentClass>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty>
        <owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#incluidoPor"/>
      </owl:onProperty>
      <owl:allValuesFrom rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarComposto"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty>
        <owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#inclui"/>
      </owl:onProperty>
      <owl:allValuesFrom rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="SistemaVentilacaoEControleFumaca">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaPassivo"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="F-LocalReuniaoPublico">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="AreaDescoberta">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesNaEdificacao"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="ReservaIncendio">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesForaEdificacao"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaEletrico">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="H-ServicoSaudeInstitucional">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="ChuveirosAutomaticos">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaFixoExtincao"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="SistemaAlternativoAoHalon">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaFixoExtincao"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="DetectoresLinearesEntrePiso">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaDeteccaoAlarme"/>
</owl:Class>

```

```

<owl:Class rdf:ID="AreaDeRisco">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Riscos"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Vedos">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#SistemaPassivo"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimplesForaEdificacao">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#LugarSimples"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
      <owl:onProperty>
        <owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#incluidoPor"/>
      </owl:onProperty>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="end"/>
<owl:TransitiveProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#estaLocalizado">
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoPatrimonial"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
  <owl:inverseOf>
    <owl:TransitiveProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#temEquipamentoPatrimonial"/>
  </owl:inverseOf>
</owl:TransitiveProperty>
<owl:TransitiveProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#temEquipamentoPatrimonial">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#SymmetricProperty"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
  <owl:inverseOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#estaLocalizado"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoPatrimonial"/>
</owl:TransitiveProperty>
<owl:TransitiveProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#estaEm">
  <owl:inverseOf>
    <owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#temEquipamentoContraIncendio"/>
  </owl:inverseOf>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:TransitiveProperty>
<owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#temEquipamentoContraIncendio">
  <owl:inverseOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#estaEm"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EquipamentoContraIncendio"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:SymmetricProperty>
<owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#incluidoPor">
  <owl:inverseOf>
    <owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#inclui"/>
  </owl:inverseOf>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
</owl:SymmetricProperty>
<owl:SymmetricProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#inclui">
  <owl:inverseOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#incluidoPor"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:SymmetricProperty>
<owl:SymmetricProperty rdf:ID="riscoVizinho">
  <owl:inverseOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#riscoVizinho"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Lugar"/>
</owl:SymmetricProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="quantidadePessoas">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>

```

```

</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="areaAConstruir">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="altura">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="responsavelTecnico">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="rtCrea">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="nrosPavimentos">
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="risco">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="classificacaoAlturaEdificio">
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#AlturaEdificio"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="fone">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="capacidade">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="nroLote">
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Estacionamento"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="classificacaoOcupacaoEdificio">
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#OcupacaoEdificio"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="areaExistente">
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="rtFone">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="quantidadeGLP">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#AreaDepositoGas"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="email">

```

```

<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="proprietario">
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="endereco">
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="classificacaoCargaIncendio">
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao"/>
<rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#CargaIncendio"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="areaTotal">
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Terreno"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
</owl:FunctionalProperty>
<DetectoresPontuaisEntreForno rdf:ID="Detector_de_Calor_Pontual_entre_Forno"/>
<ExtintoresSobreRodas rdf:ID="ESR_Carga_de_Po_D"/>
<Sala rdf:ID="Deposito2">
<temEquipamentoContraIncendio>
<Direcionamento rdf:ID="Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga">
<estaEm>
<Sala rdf:ID="Producao1-Area2">
<temEquipamentoContraIncendio>
<DetectoresLineares rdf:ID="Detector_de_Calor_Linear">
<estaEm>
<Sala rdf:ID="Producao1-Area1">
<temEquipamentoContraIncendio>
<Direcionamento rdf:ID="Saida_Final_da_Rota_de_Fuga">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<estaEm>
<Sala rdf:ID="Producao2">
<temEquipamentoContraIncendio>
<IluminacaoEmergencia rdf:ID="Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
<estaEm>
<Sala rdf:ID="Deposito3">
<temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
<temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia"/>
<temEquipamentoContraIncendio>
<ExtintoresPortateis rdf:ID="EP_Carga_DAgua">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
<estaEm>
<Sala rdf:ID="Recepcao">
<incluidoPor>
<Edificacao rdf:ID="EdificioBatata">
<classificacaoAlturaEdificio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Edificacao_Terrea"/>
<inclui>
<Sala rdf:ID="Deposito1">
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito2"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito3"/>
<riscoVizinho>
<AreaDescoberta rdf:ID="AreaLivre">
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
<riscoVizinho>
<Sala rdf:ID="Producao3">
<riscoVizinho>

```

```

<Sala rdf:ID="Escritorio2">
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
<riscoVizinho>
<AreaDescoberta rdf:ID="Garagem">
<temEquipamentoContraIncendio>
<InstalacaoEletrica rdf:ID="Chave_Eletrica_Secundaria">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Garagem"/>
</InstalacaoEletrica>
</temEquipamentoContraIncendio>
<riscoVizinho>
<Sala rdf:ID="Escritorio1">
<riscoVizinho>
<Sala rdf:ID="Deposito5">
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_DAgua"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio1"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
<riscoVizinho>
<AreaDescoberta rdf:ID="Varanda">
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito5"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio1"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
<riscoVizinho>
<Sala rdf:ID="Deposito4">
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Varanda"/>
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
</Sala>
</riscoVizinho>
</AreaDescoberta>
</riscoVizinho>
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
</Sala>
</riscoVizinho>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Garagem"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Varanda"/>
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
<temEquipamentoContraIncendio>
<ExtintoresPortateis rdf:ID="EP_Carga_de_Po_BC">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
<estaEm>
<AreaDepositoGas rdf:ID="Area_Deposito_de_Gas">
<temEquipamentoContraIncendio>
<CentralGLP rdf:ID="Central_Predial_de_GLP_ou_Gas_Natural">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Area_Deposito_de_Gas"/>
</CentralGLP>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio>
<ExtintoresSobreRodas rdf:ID="ESR_Carga_de_Po_BC">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Area_Deposito_de_Gas"/>
</ExtintoresSobreRodas>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_de_Po_BC"/>
<temEquipamentoContraIncendio>
<DetectoresLineares rdf:ID="Detector_de_Gas_Linear">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Area_Deposito_de_Gas"/>
</DetectoresLineares>
</temEquipamentoContraIncendio>
<quantidadeGLP rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"

```

```

>2000.0</quantidadeGLP>
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
</AreaDepositoGas>
</estaEm>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio1"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
</ExtintoresPortateis>
</temEquipamentoContraIncendio>
</Sala>
</riscoVizinho>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio2"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao3"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
</AreaDescoberta>
</riscoVizinho>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao3"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_DAgua"/>
  </Sala>
  </riscoVizinho>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
  <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
  <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia"/>
  <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#EP_Carga_DAgua"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#AreaLivre"/>
  <incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Garagem"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
  </Sala>
  </riscoVizinho>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito3"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito1"/>
  <incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
  </AreaDescoberta>
  </riscoVizinho>
  <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
  </Sala>
  </incluir>
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Garagem"/>
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio2"/>
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Area_Deposito_de_Gas"/>
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao3"/>
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Varanda"/>
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito5"/>
  <incluidoPor>
  <Terreno rdf:ID="IndustriaBatata">
  <incluir rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
  <fone rdf:datatype=
  "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >(16) 3378-7251</fone>
  <email rdf:datatype=
  "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >x</email>
  <risco rdf:datatype=
  "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >800</risco>
  <responsavelTecnico
  rdf:datatype=
  "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Eng. Luiz Varella Junior</responsavelTecnico>
  <proprietario

```



```

rdf:datatype=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Nilton Hamaguchi</proprietario>
<inclui>
<ReservaIncendio rdf:ID="PocoSemiArtesiano_H-01">
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#IndustriaBatata"/>
<temEquipamentoContraIncendio>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Reserva_de_Incendio">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#PocoSemiArtesiano_H-01"/>
</SistemaHidrantes>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Resgistro_de_Recalque_Sem_Valvula_de_Retencao">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#PocoSemiArtesiano_H-01"/>
</SistemaHidrantes>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Acionador_de_Bomba_de_Incendio">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#PocoSemiArtesiano_H-01"/>
</SistemaHidrantes>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Bomba_de_Incendio">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#PocoSemiArtesiano_H-01"/>
</SistemaHidrantes>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio>
<Complementos rdf:ID="Acionador_Manual_do_Sist_Deteccao_e_Alarme">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#PocoSemiArtesiano_H-01"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
</Complementos>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio>
<InstalacaoEletrica rdf:ID="Chave_Eletrica_Principal">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#PocoSemiArtesiano_H-01"/>
</InstalacaoEletrica>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Hidrante_Simples">
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#PocoSemiArtesiano_H-01"/>
</SistemaHidrantes>
</temEquipamentoContraIncendio>
</ReservaIncendio>
</inclui>
<endereco
rdf:datatype=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Rodovia Thales de Lorena Peixoto</endereco>
<nrosPavimentos
rdf:datatype=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
>1</nrosPavimentos>
</Terreno>
</incluidoPor>
<quantidadePessoas
rdf:datatype=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
>92</quantidadePessoas>
<inclui rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito3"/>
<inclui rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<altura rdf:datatype=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
>0.0</altura>
<classificacaoOcupacaoEdificio
rdf:ID="I-2-
Locais_onde_as_atividades_exercidas_e_os_materiais_utilizados_apresentam_medio_potencial_de_incendio_Locais_com_carga_de_ince
ndio_entre_300_a_1.200MJ_m2">
</rdfs:comment

```

```

        rdf:datatype=
        "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
        >Atividades que manipulam materiais com medio risco
de incendio, tais como: artigos de vidro; automoveis,
bebidas destiladas; instrumentos musicais; moveis; alimentos
marcenarias, fabricas de caixas e assemelhados</rdfs:comment>
    </!-Industria>
</classificacaoOcupacaoEdificio>
<inclui rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito4"/>
<inclui rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
<inclui rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio1"/>
<inclui rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#AreaLivre"/>
<classificacaoCargalncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Risco_Medio"/>
<inclui rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito2"/>
</Edificacao>
</incluidoPor>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Varanda"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Acionador_Manual_do_Sist_Deteccao_e_Alarme"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito5"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito4"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_DAgua"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Saida_Final_da_Rota_de_Fuga"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Garagem"/>
<temEquipamentoContraIncendio>
<SistemaAlarme rdf:ID="Avisador_Sonoro_Tipo_Sirene">
  <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
</SistemaAlarme>
</temEquipamentoContraIncendio>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao3"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio1"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<temEquipamentoContraIncendio>
<Complementos rdf:ID="Baterias_do_Sist_Deteccao_e_Alarme">
  <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
</Complementos>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio>
<Complementos rdf:ID="Central_de_Deteccao_e_Alarme">
  <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
</Complementos>
</temEquipamentoContraIncendio>
</Sala>
</estaEm>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito3"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito5"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio2"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao3"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
</ExtintoresPortateis>
</temEquipamentoContraIncendio>
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito2"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito1"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#AreaLivre"/>
</Sala>
</estaEm>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio1"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio2"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao3"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
</IluminacaoEmergencia>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_DAgua"/>
<temEquipamentoContraIncendio>
<IluminacaoEmergencia rdf:ID="Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia_Tipo_Balizamento">
  <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>

```

```

    <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito2"/>
    <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
    <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
  </IluminacaoEmergencia>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Saida_Final_da_Rota_de_Fuga"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito3"/>
  <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_de_Po_BC"/>
  <incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#AreaLivre"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao3"/>
  <temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Accionador_Manual_do_Sist_Deteccao_e_Alarme"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  <temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  </Sala>
  </estaEm>
  <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
  <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
  </Direcionamento>
</temEquipamentoContraIncendio>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_DAgua"/>
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Detector_de_Calor_Linear"/>
<temEquipamentoContraIncendio>
  <ExtintoresPortateis rdf:ID="EP_Carga_de_Po_ABC">
    <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
    <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
  </ExtintoresPortateis>
</temEquipamentoContraIncendio>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito4"/>
<temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  <temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia_Tipo_Balizacao"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_de_Po_BC"/>
  <temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Accionador_Manual_do_Sist_Deteccao_e_Alarme"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  <temEquipamentoPatrimonial>
  <EquipamentoPatrimonial rdf:ID="Fritador_de_Batata">
    <estaLocalizado rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
    <estaLocalizado rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
  </EquipamentoPatrimonial>
</temEquipamentoPatrimonial>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Area_Deposito_de_Gas"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Varanda"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#AreaLivre"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
  <temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  </Sala>
  </estaEm>
  <estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area2"/>
  </DetectoresLineares>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Recepcao"/>
  <incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
  <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_DAgua"/>
  <temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Accionador_Manual_do_Sist_Deteccao_e_Alarme"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
  <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_de_Po_ABC"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito4"/>
  <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#AreaLivre"/>
  <temEquipamentoContraIncendio
estruturas.owl#Direcao_do_Fluxo_da_Rota_de_Fuga"/>
  rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-

```

```

    <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia_Tipo_Balizacao"/>
    <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EP_Carga_de_Po_BC"/>
    <temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Saida_Final_da_Rota_de_Fuga"/>
    <temEquipamentoPatrimonial rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Fritador_de_Batata"/>
    <riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Varanda"/>
  </Sala>
</estaEm>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito5"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao2"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao3"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio2"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito2"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito3"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Escritorio1"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Producao1-Area1"/>
<estaEm rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito1"/>
</Direcionamento>
</temEquipamentoContraIncendio>
<temEquipamentoContraIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-
estrutura.owl#Ponto_de_Iluminacao_de_Emergencia_Tipo_Balizacao"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito3"/>
<riscoVizinho rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#Deposito1"/>
<incluidoPor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/infra-estrutura.owl#EdificioBatata"/>
</Sala>
<Outros-Outros rdf:ID="Equipamentos_a_Prova_de_Explosao"/>
<Nebulizadores rdf:ID="Registro_Manual_do_SN"/>
<SistemaEspuma rdf:ID="Estacao_Fixa_de_Emulsionamento"/>
<SistemaEspuma rdf:ID="Area_Protegida_Pelo_SFE"/>
<VasoPressao rdf:ID="Vaso_sobre_Pressao"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Grupo_Moto-Ventilador_ou_Grupo_Moto-
Exaustor_ou_Exaustor_para_Controlo_de_Fumaca"/>
<SistemaAlarme rdf:ID="Avisador_Sonoro_Tipo_Alto_Falante"/>
<DetectoresPontuaisEmArmario rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Pontual_em_Armario"/>
<SistemaGasCarbonico rdf:ID="Bateria_de_Cilindros_do_SF_CO2"/>
<ChuveirosAutomaticos rdf:ID="Registro_de_Recalque_para_SCA"/>
<Vedos rdf:ID="Parede_de_Compartmentacao"/>
<C-Comercial rdf:ID="C-2-Comercio_com_media_e_alta_carga_de_incendio">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Edificios de lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros</rdfs:comment>
</C-Comercial>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Damper_de_Sobrepessao"/>
<SistemaGasCarbonico rdf:ID="Acionador_Manual_do_SF_CO2"/>
<SistemaEspuma rdf:ID="Camara_de_Espuma_do_SFE"/>
<DetectoresLinearesEntreForro rdf:ID="Detector_de_Chamas_Linear_entre_Forro"/>
<DetectoresPontuaisProtecao rdf:ID="Detector_de_Chamas_Pontual_com_Protecao_contra_intemperies"/>
<D-ServicoProfissional rdf:ID="D-1-Local_para_prestacao_de_servico_profissional_ou_conducao_de_negocios">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Escritorios administrativos ou tecnicos, instituicoes financeiras (que nao estejam incluidas em D-2), reparticoes publicas, cabeleireiros,
centros profissionais e assemelhados</rdfs:comment>
</D-ServicoProfissional>
<DetectoresPontuaisEntrePiso rdf:ID="Detector_de_Chamas_Pontual_entre_Piso"/>
<DetectoresLinearesEmArmarios rdf:ID="Detector_de_Calor_Linear_em_Armario"/>
<SistemaAlarme rdf:ID="Avisador_Sonoro_e_Visual_com_Alto_Falante"/>
<DetectoresLinearesProtecao rdf:ID="Detector_de_Calor_Linear_com_Protecao_contra_intemperies"/>
<C-Comercial rdf:ID="C-3-Shoppings_centers">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Centro de compras em geral (shopping centers)</rdfs:comment>
</C-Comercial>
<D-ServicoProfissional rdf:ID="D-3-Servico_de_reparacao">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Lavanderias, assistencia tecnica, reparacao e manutencao de aparelhos eletrodomesticos, chaveiros, pintura de letreiros e
outros</rdfs:comment>
</D-ServicoProfissional>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Acionador_Manual_Pressurizacao_Exaustao"/>
<DetectoresPontuaisProtecao rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Pontual_com_Protecao_contra_intemperies"/>
<DetectoresPontuaisEntrePiso rdf:ID="Detector_de_Calor_Pontual_entre_Piso"/>
<ProdutosPerigosos rdf:ID="Comburente"/>
<Tanques rdf:ID="Tanque_Vertical_acima_do_Solo_Elevado"/>
<Outros-Outros rdf:ID="Acesso_de_Viatura_na_Edificacao_ou_Area_de_Risco"/>
<DetectoresLineares rdf:ID="Detector_de_Chamas_Linear"/>

```

```

<ChuveirosAutomaticos rdf:ID="Painel_de_Comando_Central_SCA"/>
<A-Residencial rdf:ID="A-3-Habitacao_coletiva">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residencias geriatricas. Capacidade maxima de 16 leitos</rdfs:comment>
</A-Residencial>
<Complementos rdf:ID="Painel_Repetidor_do_Sistema"/>
<DetectoresLineares rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Linear"/>
<A-Residencial rdf:ID="A-1-Habitacao_unifamiliar">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Casas terreas ou assobradadas (isoladas e nao isoladas) e condominios horizontais</rdfs:comment>
</A-Residencial>
<SistemaEspuma rdf:ID="Estacao_Movel_de_Emulsionamento"/>
<ExtintoresSobreRodas rdf:ID="ESR_Carga_DAgua"/>
<DetectoresPontuaisEntrePiso rdf:ID="Detector_de_Gas_Pontual_entre_Piso"/>
<SistemaAlarme rdf:ID="Avisador_Sonoro_Tipo_Gongo"/>
<Elevadores rdf:ID="Elevador_Simples"/>
<ExtintoresPortateis rdf:ID="EP_Carga_de_Espuma_Mecanica"/>
<DetectoresPontuaisEntreForro rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Pontual_entre_Forro"/>
<DetectoresLinearesEntreForro rdf:ID="Detector_de_Gas_Linear_entre_Forro"/>
<AberturaProtegida rdf:ID="Abertura_Protegida_P-30"/>
<ParaRaio rdf:ID="Para_Raio"/>
<Complementos rdf:ID="Telefone_de_Emergencia_Interfone"/>
<DetectoresPontuais rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Pontual"/>
<ExtintoresSobreRodas rdf:ID="ESR_Carga_de_Espuma_Mecanica"/>
<Elevadores rdf:ID="Elevador_Monta_Carga"/>
<Tanques rdf:ID="Tanque_Vertical_Semi-Enterrado"/>
<DetectoresPontuais rdf:ID="Detector_de_Chamas_Pontual"/>
<AberturaProtegida rdf:ID="Abertura_Protegida_P-60"/>
<SistemaEspuma rdf:ID="Canhao_Monitor_Portatil_SFR"/>
<DetectoresPontuaisProtecao rdf:ID="Detector_de_Calor_Pontual_com_Protecao_contra_intemperies"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Veneziana_de_Exaustao_para_SCF_junto_ao_Teto"/>
<ChuveirosAutomaticos rdf:ID="Ponto_Bico_de_Sprinkler"/>
<DetectoresLinearesEmArmarios rdf:ID="Detector_de_Chama_Linear_em_Armario"/>
<ProdutosPerigosos rdf:ID="Toxico"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Grelha_para_SCF"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Central_de_Acionamento_das_Venezianas"/>
<D-ServicoProfissional rdf:ID="D-2-Agencia_bancaria">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Agencias bancarias e assemelhados</rdfs:comment>
</D-ServicoProfissional>
<AreaDeRisco rdf:ID="Area_de_Risco_Especial"/>
<DetectoresLinearesEntrePiso rdf:ID="Detector_de_Gas_Linear_entre_Piso"/>
<DetectoresLinearesProtecao rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Linear_com_Protecao_contra_intemperies"/>
<SistemaEspuma rdf:ID="Extrato_Formador_de_Espuma_EFE_Portatil"/>
<Shafts rdf:ID="Shafts_Protegidos"/>
<Tanques rdf:ID="Tanque_Horizontal_acima_do_Solo_Superficie"/>
<DetectoresPontuaisProtecao rdf:ID="Detector_de_Gas_Pontual_com_Protecao_contra_intemperies"/>
<SistemaAlternativoAoHalon rdf:ID="Area_Protegida_Halon"/>
<DetectoresPontuais rdf:ID="Detector_de_Gas_Pontual"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Registro_de_Fluxo"/>
</I-Industria
Locais_onde_as_atividades_exercidas_e_os_materiais_utilizados_apresentam_baixo_potencial_de_incendio._Locais_onde_a_carga_de_in
cendio_nao_chega_a_300MJ_m2">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Atividades que manipulam materiais com baixo risco
  de incendio, tais como fabricas em geral, onde os processos
  nao envolvem a utilizacao intensiva de materiais
  combustiveis (aco; aparelhos de radio e som; armas;
  artigos de metal; gesso; esculturas de pedra; ferramentas;
  fotografururas; joias; relógios; sabao; serralheria; suco
  de frutas; loucas; metais; maquinas)</rdfs:comment>
</I-Industria>
<DetectoresPontuais rdf:ID="Detector_de_Calor_Pontual"/>
<Vedos rdf:ID="Parede_Comum"/>
<ProdutosPerigosos rdf:ID="Combustivel"/>
<Antipânico rdf:ID="Barra_Antipânico"/>
<SistemaEspuma rdf:ID="Sistema_Portatil_de_Espuma_Esguicho_Lancador"/>
<DetectoresLinearesProtecao rdf:ID="Detector_de_Chamas_Linear_com_Protecao_contra_intemperies"/>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Registro_de_Recalque_Com_Valvula_de_Retencao"/>
<B-ServicoHospedagem rdf:ID="B-2-Hotel_residencial">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"

```

```

>Hotéis e semelhantes com cozinha própria nos apartamentos
(incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
e semelhantes</rdfs:comment>
</B-ServicoHospedagem>
<ChuveirosAutomaticos rdf:ID="Area_Protegida_pelo_SCA"/>
<InstalacaoEletrica rdf:ID="Quadro_de_Distribuicao_de_Luz_QDL"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Grelha_com_Dispositivo_de_Ajuste_e_Balanceamento"/>
<SistemaEspuma rdf:ID="Canhao_Monitor_Portatil_SFE"/>
<DetectoresPontuaisEntreForro rdf:ID="Detector_de_Gas_Pontual_entre_Forro"/>
<Tanques rdf:ID="Tanque_Vertical_abaixo_Solo_Enterrado"/>
<Tanques rdf:ID="Tanque_Horizontal_abaixo_Solo_Enterrado"/>
<Dampers rdf:ID="Dampers_Corta_Fogo"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Veneziana_de_Entrada_de_Ar_com_Filtro_Metalico_Lavavel"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Dimensoes_da_Veneziana_e_Altura_do_Piso_m"/>
<AreaDeRisco rdf:ID="Areas_Frias"/>
<DetectoresLinearesEntrePiso rdf:ID="Detector_Chamas_Linear_entre_Piso"/>
<DetectoresPontuaisEmArmario rdf:ID="Detector_de_Calor_Pontual_em_Armario"/>
<SistemaGasCarbonico rdf:ID="Area_Protegida_pelo_SF_CO2"/>
<ExtintoresSobreRodas rdf:ID="ESR_Carga_de_CO2"/>
<ExtintoresPortateis rdf:ID="EP_Carga_de_Po_D"/>
<DetectoresLinearesEmArmarios rdf:ID="Detector_de_Gas_Linear_em_Armario"/>
<SistemaEspuma rdf:ID="Tanque_Atmosferico_de_EFE_SFE"/>
<IluminacaoEmergencia rdf:ID="Central_do_Sist_Iluminacao_de_Emergencia"/>
<ChuveirosAutomaticos rdf:ID="Reserva_de_Incendio_para_SCA"/>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Hidrante_Urbano_Subterraneo"/>
<Vedos rdf:ID="Divisorias_Leves"/>
<Tanques rdf:ID="Tanque_Horizontal_Semi-Enterrado"/>
<ChuveirosAutomaticos rdf:ID="Valvula_de_Governo_e_Alarme_VGA_e_ou_Comando_Seccional_CS"/>
<AberturaProtegida rdf:ID="Porta_Corta_Fogo_P-120"/>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Hidrante_Duplo"/>
<B-ServicoHospedagem rdf:ID="B-1-Hotel_e_assemelhado">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de comodos e divisao A3 com mais de 16 leitos. E
assemelhados</rdfs:comment>
</B-ServicoHospedagem>
<Elevadores rdf:ID="Elevador_de_Emergencia"/>
<Dampers rdf:ID="Dampers_Corta_Fogo_e_Fumaca"/>
<SistemaVentilacaoEControleFumaca rdf:ID="Veneziana_de_Entrada_de_Ar_para_SCF_junto_ao_Piso"/>
<DetectoresPontuaisEntreForro rdf:ID="Detector_de_Chamas_Pontual_entre_Forro"/>
<DetectoresPontuaisEntrePiso rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Pontual_entre_Piso"/>
<ProdutosPerigosos rdf:ID="Explosivo"/>
<DetectoresLinearesEntreForro rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Linear_entre_Forro"/>
<DetectoresLinearesEntrePiso rdf:ID="Detector_de_Calor_Linear_entre_Piso"/>
<DetectoresLinearesProtecao rdf:ID="Detector_de_Gas_Linear_com_Protecao_contra_intemperies"/>
<I-Industria rdf:ID="I-3-Loais_onde_ha_alto_risco_de_incendio_Locais_com_carga_de_incendio_superior_a_1.200_MJ_m2">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Fabricacao de explosivos, atividades industriais que envolvam
liquidos e gases inflamaveis, materiais oxidantes,
destilarias, refinarias, ceras, espuma sintetica, elevadores
de graos, tintas, borracha e semelhantes</rdfs:comment>
</I-Industria>
<SistemaHidrantes rdf:ID="Mangotinho"/>
<D-ServicoProfissional rdf:ID="D-4-Laboratorio">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Laboratorios de analises clinicas sem internacao, laboratorios
quimicos, fotograficos e semelhantes</rdfs:comment>
</D-ServicoProfissional>
<AberturaProtegida rdf:ID="Porta_Corta_Fogo_P-90"/>
<Nebulizadores rdf:ID="Area_Protegida_pelo_SN"/>
<C-Comercial rdf:ID="C-1-Comercio_com_baixa_carga_de_incendio">
  <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Armarinhos, artigos de metal, loucas, artigos hospitalares e outros</rdfs:comment>
</C-Comercial>
<DetectoresPontuaisEmArmario rdf:ID="Detector_de_Chamas_Pontual_em_Armario"/>
<ProdutosPerigosos rdf:ID="Corrosivo"/>
<SistemaAlarme rdf:ID="Avisador_Sonoro_e_Visual_com_Gongo"/>
<SistemaAlarme rdf:ID="Avisador_Sonoro_e_Visual"/>
<DetectoresPontuaisEmArmario rdf:ID="Detector_de_Gas_Pontual_em_Armario"/>
<Vedos rdf:ID="Paredes_Corta_Fogo"/>
<Outros-Outros rdf:ID="Acesso_de_Guarnicao_a_Edificacao_ou_Area_de_Risco"/>
<A-Residencial rdf:ID="A-2-Habitacao_multifamiliar">

```

```

<rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Edifícios de apartamento em geral</rdfs:comment>
</A-Residencial>
<DetectoresLinearesEmArmarios rdf:ID="Detector_de_Fumaca_Linear_em_Armario"/>
<IluminacaoEmergencia rdf:ID="Baterias_de_Acumuladores_para_Sist_Iluminacao_de_Emergencia"/>
<SistemaAlternativoAoHalon rdf:ID="Central_de_Baterias_Halon"/>
<SistemaAlarme rdf:ID="Avisador_Visual"/>
<AberturaProtegida rdf:ID="Porta_Corta_Fogo_P-60"/>
<SistemaAlternativoAoHalon rdf:ID="Acionador_Manual_Halon"/>
<ChuveirosAutomaticos rdf:ID="Bomba_de_Incendio_para_SCA"/>
<ExtintoresPortateis rdf:ID="EP_Carga_de_CO2"/>
<IluminacaoEmergencia rdf:ID="Grupo_Moto_Gerador"/>
<Dampers rdf:ID="Dampers_Corta_Fumaca"/>
<ProdutosPerigosos rdf:ID="Radioativos"/>
<ExtintoresSobreRodas rdf:ID="ESR_Carga_de_Po_ABC"/>
<DetectoresLinearesEntreForro rdf:ID="Detector_de_Calor_Linear_entre_Forro"/>
</rdf:RDF>

<!-- Created with Protege (with OWL Plugin 3.2.1, Build 365) http://protege.stanford.edu -->

```

APÊNDICE E – Ontologia Pessoa

```

<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xml:base="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl">
  <owl:Ontology rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl"/>
  <owl:Class rdf:ID="Especialista">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Pessoa"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Paramedico">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Especializacao"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="EngenheiroSeguranca">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Especializacao"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="DefesaCivil">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Especializacao"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Policial">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Especializacao"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Participante">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Pessoa"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Bombeiro">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Especializacao"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="BrigadaIncendio">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Especializacao"/>
  </owl:Class>
  <owl:FunctionalProperty rdf:ID="estado">
    <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Participante"/>
    <rdfs:range>
      <owl:DataRange>
        <owl:oneOf rdf:parseType="Resource">
          <rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
            >EmpPe</rdf:first>
          <rdf:rest rdf:parseType="Resource">
            <rdf:rest rdf:parseType="Resource">
              <rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#nil"/>
              <rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
                >Deitado</rdf:first>
            </rdf:rest>
          <rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
            >Sentado</rdf:first>
          </rdf:rest>
        </owl:oneOf>
      </owl:DataRange>
    </rdfs:range>
    <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
  </owl:FunctionalProperty>
  <owl:FunctionalProperty rdf:ID="consiente">
    <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Participante"/>
    <rdfs:range>
      <owl:DataRange>
        <owl:oneOf rdf:parseType="Resource">
          <rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
            >Sim</rdf:first>
          <rdf:rest rdf:parseType="Resource">

```



```

<rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Nao</rdf:first>
<rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#nil"/>
</rdf:rest>
</owl:oneOf>
</owl:DataRange>
</rdfs:range>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="especializacao">
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Especialista"/>
<rdfs:range>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Bombeiro"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Policia"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Paramedico"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#EngenheiroSeguranca"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#DefesaCivil"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#BrigadaIncendio"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:range>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="sexo">
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Participante"/>
<rdfs:range>
<owl:DataRange>
<owl:oneOf rdf:parseType="Resource">
<rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Feminino</rdf:first>
<rdf:rest rdf:parseType="Resource">
<rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Masculino</rdf:first>
<rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#nil"/>
</rdf:rest>
</owl:oneOf>
</owl:DataRange>
</rdfs:range>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="postura">
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Participante"/>
<rdfs:range>
<owl:DataRange>
<owl:oneOf rdf:parseType="Resource">
<rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>EmMovimento</rdf:first>
<rdf:rest rdf:parseType="Resource">
<rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Parado</rdf:first>
<rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#nil"/>
</rdf:rest>
</owl:oneOf>
</owl:DataRange>
</rdfs:range>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="estaEm">
<rdfs:domain>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Participante"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Especialista"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:domain>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="idade">

```

```

<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Participante"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"/>
</owl:FunctionalProperty>
<BrigadaIncendio rdf:ID="Brigadista"/>
<Especialista rdf:ID="Cabo04">
  <especializacao>
    <Bombeiro rdf:ID="Cabo"/>
  </especializacao>
</Especialista>
<Especialista rdf:ID="Brigadista03">
  <especializacao rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Brigadista"/>
</Especialista>
<Especialista rdf:ID="Brigadista02">
  <especializacao rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Brigadista"/>
</Especialista>
<Paramedico rdf:ID="Medico"/>
<Bombeiro rdf:ID="Sargento"/>
<BrigadaIncendio rdf:ID="Enfermeiro"/>
<Bombeiro rdf:ID="Soldado"/>
<Especialista rdf:ID="Enfermeiro01">
  <especializacao rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Enfermeiro"/>
</Especialista>
<Especialista rdf:ID="Oficial01">
  <especializacao>
    <Bombeiro rdf:ID="Oficial"/>
  </especializacao>
</Especialista>
<Especialista rdf:ID="Soldado05">
  <especializacao rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Soldado"/>
</Especialista>
<Participante rdf:ID="Homem01">
  <consiente rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Sim</consiente>
  <estado rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Sentado</estado>
  <postura rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Parado</postura>
  <sexo rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Masculino</sexo>
  <idade rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >30</idade>
</Participante>
<Participante rdf:ID="Mulher02">
  <sexo rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Feminino</sexo>
  <postura rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Parado</postura>
  <idade rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >40</idade>
  <consiente rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Sim</consiente>
  <estado rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Sentado</estado>
</Participante>
<Especialista rdf:ID="Cabo03">
  <especializacao rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Cabo"/>
</Especialista>
<Especialista rdf:ID="Sargento02">
  <especializacao rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/pessoa.owl#Sargento"/>
</Especialista>
<Participante rdf:ID="Mulher01">
  <idade rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >25</idade>
  <postura rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Parado</postura>
  <sexo rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Feminino</sexo>
  <consiente rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Sim</consiente>
  <estado rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Sim</estado>

```

```
>Sentado</estado>  
</Participante>  
</rdf:RDF>
```

```
<!-- Created with Protege (with OWL Plugin 3.2.1, Build 365) http://protege.stanford.edu -->
```

APÊNDICE F – Ontologia Objeto

```

<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xml:base="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl">
  <owl:Ontology rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl"/>
  <owl:Class rdf:ID="Capacete">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="EquipamentoProtecaoIndividual"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Capa">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoIndividual"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Lanterna">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoIndividual"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="EquipamentoProtecaoRespiratorio"/>
  <owl:Class rdf:ID="Baclava">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoIndividual"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Bota">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoIndividual"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Calca">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoIndividual"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Luva">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoIndividual"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="CilindroOxigenio">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoRespiratorio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Machadinha">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoRespiratorio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Mascara">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#EquipamentoProtecaoRespiratorio"/>
  </owl:Class>
  <owl:FunctionalProperty rdf:ID="emUso">
    <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
    <rdfs:domain>
      <owl:Class>
        <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#CilindroOxigenio"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Mascara"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Bota"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Capacete"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Baclava"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Capa"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Calca"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Luva"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Lanterna"/>
          <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/objeto.owl#Machadinha"/>
        </owl:unionOf>
      </owl:Class>
    </rdfs:domain>
    <rdfs:range>
      <owl:DataRange>
        <owl:oneOf rdf:parseType="Resource">
          <rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
            >Sim</rdf:first>
          <rdf:rest rdf:parseType="Resource">

```

```
<rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>Nao</rdf:first>
<rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#nil"/>
</rdf:rest>
</owl:oneOf>
</owl:DataRange>
</rdfs:range>
</owl:FunctionalProperty>
<Mascara rdf:ID="Mascara_15">
  <emUso rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Nao</emUso>
</Mascara>
<CilindroOxigenio rdf:ID="CilindroOxigenio_14">
  <emUso rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Nao</emUso>
</CilindroOxigenio>
</rdf:RDF>

<!-- Created with Protege (with OWL Plugin 3.2.1, Build 365) http://protege.stanford.edu -->
```



```

    >true</owl:hasValue>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:minCardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >1</owl:minCardinality>
    <owl:onProperty>
      <owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temCombustivel"/>
    </owl:onProperty>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Explosao"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="CombustivelSolido">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Combustivel"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="FaseIncendio"/>
<owl:Class rdf:ID="Incendio">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:minCardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
      >1</owl:minCardinality>
      <owl:onProperty>
        <owl:FunctionalProperty rdf:ID="temFontelgnicao"/>
      </owl:onProperty>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty>
        <owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temCombustivel"/>
      </owl:onProperty>
      <owl:minCardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
      >1</owl:minCardinality>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:cardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
      >1</owl:cardinality>
      <owl:onProperty>
        <owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temComburente"/>
      </owl:onProperty>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="CombustivelLiquido">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Combustivel"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="BoilOver">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:hasValue rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
      >true</owl:hasValue>
      <owl:onProperty>
        <owl:FunctionalProperty rdf:ID="temperaturaMaior100"/>
      </owl:onProperty>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty>
        <owl:FunctionalProperty rdf:ID="miscivelAgua"/>
      </owl:onProperty>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <owl:hasValue rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
  >true</owl:hasValue>

```

```

    >false</owl:hasValue>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty>
      <owl:FunctionalProperty rdf:ID="temAgua"/>
    </owl:onProperty>
    <owl:hasValue rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
    >true</owl:hasValue>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:minCardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >1</owl:minCardinality>
    <owl:onProperty>
      <owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temCombustivel"/>
    </owl:onProperty>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:cardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >1</owl:cardinality>
    <owl:onProperty>
      <owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temComburente"/>
    </owl:onProperty>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Explosao"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Comburente"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Combustivel">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class>
      <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelGasoso"/>
        <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelLiquido"/>
        <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelSolido"/>
      </owl:intersectionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="temFormaPropagacaoCalor">
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#PropagacaoCalor"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Incendio"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="temFaseIncendio">
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Incendio"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#FaseIncendio"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="classeIncendioQueCombate">
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#AgenteExtintor"/>
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#ClasseIncendio"/>
  <owl:inverseOf>
    <owl:ObjectProperty rdf:ID="combatidoPeloAgenteExtintor"/>
  </owl:inverseOf>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#combatidoPeloAgenteExtintor">
  <rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#AgenteExtintor"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#ClasseIncendio"/>
  <owl:inverseOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#classeIncendioQueCombate"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#miscivelAgua">
  <rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelLiquido"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temperaturalgualPontolgnicaoCombustivel">

```



```

<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#FlashOver"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temAgua">
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#BoilOver"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#houveAberturaBruscaNoLocal">
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Backdraft"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temCombustivel">
<rdfs:range>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelGasoso"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelLiquido"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelSolido"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:range>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
<rdfs:domain>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Incendio"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Backdraft"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#BoilOver"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#FlashOver"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:domain>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temFontelgnicao">
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
<rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Fontelgnicao"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Incendio"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="pontoFulgor">
<rdfs:domain>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelGasoso"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelLiquido"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelSolido"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:domain>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temOxigenioBaixo">
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Backdraft"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="temClassificacaoIncendio">
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
<rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#ClasseIncendio"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Incendio"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="pontoIgnicao">
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
<rdfs:domain>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelGasoso"/>

```

```

<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelLiquido"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelSolido"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:domain>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="limiteSuperiorInflamabilidade">
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelGasoso"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:ID="limiteInferiorInflamabilidade">
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#CombustivelGasoso"/>
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temComburente">
<rdfs:domain>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Incendio"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#FlashOver"/>
<owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#BoilOver"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:domain>
<rdfs:range rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Comburente"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<owl:FunctionalProperty rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#temperaturaMaior100">
<rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#BoilOver"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty"/>
</owl:FunctionalProperty>
<FaseIncendio rdf:ID="Queima_livre"/>
<CombustivelGasoso rdf:ID="Propano">
<limiteInferiorInflamabilidade rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
>5.0</limiteInferiorInflamabilidade>
<limiteSuperiorInflamabilidade rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
>17.0</limiteSuperiorInflamabilidade>
</CombustivelGasoso>
<AgenteExtintor rdf:ID="Espuma">
<classeIncendioQueCombate>
<ClasseIncendio rdf:ID="Classe_B_Liquidos_Inflamaveis">
<combatidoPeloAgenteExtintor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Espuma"/>
<combatidoPeloAgenteExtintor>
<AgenteExtintor rdf:ID="Po_Quimico_Seco">
<classeIncendioQueCombate rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Classe_B_Liquidos_Inflamaveis"/>
<classeIncendioQueCombate>
<ClasseIncendio rdf:ID="Classe_C_Equipamentos_Energizados">
<combatidoPeloAgenteExtintor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Po_Quimico_Seco"/>
</ClasseIncendio>
</classeIncendioQueCombate>
<classeIncendioQueCombate>
<ClasseIncendio rdf:ID="Classe_D_Metais_Piroforicos">
<combatidoPeloAgenteExtintor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Po_Quimico_Seco"/>
</ClasseIncendio>
</classeIncendioQueCombate>
</AgenteExtintor>
</combatidoPeloAgenteExtintor>
</ClasseIncendio>
</classeIncendioQueCombate>
</AgenteExtintor>
<PropagacaoCalor rdf:ID="Conveccao"/>
<Fontelgnicao rdf:ID="Curto_Circuito"/>
<FlashOver rdf:ID="FlashOverTeste">
<temperaturaligualPontolgnicaoCombustivel rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
>true</temperaturaligualPontolgnicaoCombustivel>
<temComburente>
<Comburente rdf:ID="Oxigenio"/>
</temComburente>

```

```

<temCombustivel>
  <CombustivelSolido rdf:ID="Madeira">
    <pontoIgnicao rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
    >232.0</pontoIgnicao>
    <pontoFulgor rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
    >204.0</pontoFulgor>
  </CombustivelSolido>
</temCombustivel>
</FlashOver>
<CombustivelLiquido rdf:ID="Oleo">
  <pontoFulgor rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
  >540.0</pontoFulgor>
  <pontoIgnicao rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
  >833.0</pontoIgnicao>
</CombustivelLiquido>
<Incendio rdf:ID="Area1">
  <temFonteIgnicao rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Curto_Circuito"/>
  <temComburente rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Oxigenio"/>
  <temFaseIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Queima_livre"/>
  <temCombustivel rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Madeira"/>
  <temFormaPropagacaoCalor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Conveccao"/>
  <temFormaPropagacaoCalor>
    <PropagacaoCalor rdf:ID="Conducao"/>
  </temFormaPropagacaoCalor>
  <temClassificacaoIncendio>
    <ClasseIncendio rdf:ID="Classe_A_Solido_Inflamaveis">
      <combatidoPeloAgenteExtintor>
        <AgenteExtintor rdf:ID="Agua_Pressurizada">
          <classeIncendioQueCombate rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Classe_A_Solido_Inflamaveis"/>
        </AgenteExtintor>
      </combatidoPeloAgenteExtintor>
      <combatidoPeloAgenteExtintor>
        <AgenteExtintor rdf:ID="Gas_Carbonico">
          <classeIncendioQueCombate rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Classe_A_Solido_Inflamaveis"/>
        </AgenteExtintor>
      </combatidoPeloAgenteExtintor>
    </ClasseIncendio>
  </temClassificacaoIncendio>
</Incendio>
<CombustivelGasoso rdf:ID="Metano">
  <limiteSuperiorInflamabilidade rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
  >7.6</limiteSuperiorInflamabilidade>
  <limiteInferiorInflamabilidade rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
  >1.4</limiteInferiorInflamabilidade>
</CombustivelGasoso>
<FaseIncendio rdf:ID="Fase_Inicial"/>
<Backdraft rdf:ID="BackdraftTeste">
  <temCombustivel rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Madeira"/>
  <temOxigenioBaixo rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
  >true</temOxigenioBaixo>
  <houveAberturaBruscaNoLocal rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
  >true</houveAberturaBruscaNoLocal>
</Backdraft>
<FaseIncendio rdf:ID="Queima_lenta"/>
<BoilOver rdf:ID="BoilOverTeste">
  <temAgua rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
  >true</temAgua>
  <temComburente rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Oxigenio"/>
  <temCombustivel rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Oleo"/>
  <temperaturaMaior100 rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
  >true</temperaturaMaior100>
</BoilOver>
<owl:DataRange>
  <owl:oneOf rdf:parseType="Resource">
    <rdf:rest rdf:parseType="Resource">
      <rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#nil"/>
      <rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
      >Nao</rdf:first>
    </rdf:rest>
    <rdf:first rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >Sim</rdf:first>
  </owl:oneOf>

```

```

</owl:oneOf>
</owl:DataRange>
<PropagacaoCalor rdf:ID="Irradiacao"/>
<CombustivelLiquido rdf:ID="Etanol">
  <pontoIgnicao rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
  >363.0</pontoIgnicao>
  <pontoFulgor rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
  >12.0</pontoFulgor>
</CombustivelLiquido>
<Incendio rdf:ID="Area2">
  <temFormaPropagacaoCalor rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Conducao"/>
  <temFaseIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Queima_livre"/>
  <temFonteIgnicao rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Curto_Circuito"/>
  <temClassificacaoIncendio rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Classe_B_Liquidos_Inflamaveis"/>
  <temComburente rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Oxigenio"/>
  <temCombustivel rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/emergencia.owl#Oleo"/>
</Incendio>
</rdf:RDF>

<!-- Created with Protege (with OWL Plugin 3.2.1, Build 365) http://protege.stanford.edu -->

```

APÊNDICE H – Ontologia Tática

```

<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl#"
  xml:base="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl">
  <owl:Ontology rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl"/>
  <owl:Class rdf:ID="Extincao">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="SICER"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl#SICER">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="CombateIncendio"/>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Isolamento">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl#SICER"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="ProtecaoSalvados">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl#CombateIncendio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Salvamento">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl#SICER"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Ventilacao">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl#CombateIncendio"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Confinamento">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl#SICER"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Rescaldo">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="file:D/LRVNet/ontologia/tatica.owl#SICER"/>
  </owl:Class>
</rdf:RDF>

<!-- Created with Protege (with OWL Plugin 3.2.1, Build 365) http://protege.stanford.edu -->

```