

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**  
**PROJETOS 2**

Melissa Figueira Fagundes

**ONTOLOGIA *FUZZY* PARA REPRESENTAÇÃO E PROCESSAMENTO DE  
INFORMAÇÃO IMPRECISA EM AMBIENTES PARA ROBÔS MÓVEIS**

Florianópolis

2010/2

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

Melissa Figueira Fagundes

**ONTOLOGIA *FUZZY* PARA REPRESENTAÇÃO E PROCESSAMENTO DE  
INFORMAÇÃO IMPRECISA EM AMBIENTES PARA ROBÔS MÓVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido  
como requisito para obtenção do título de  
Bacharel do Curso de Graduação em Sistemas  
de Informação

Orientadora: Prof. Dr. Patrícia Della Mea Plentz

Co-orientador: Prof. Dr. Mauro Rosenberg

Florianópolis

2010/2

Melissa Figueira Fagundes

**ONTOLOGIA *FUZZY* PARA REPRESENTAÇÃO E PROCESSAMENTO DE  
INFORMAÇÃO IMPRECISA EM AMBIENTES PARA ROBÔS MÓVEIS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Sistemas de Informação, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Sistemas de Informação

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Marta Leite, Dra.  
Coordenadora do Curso

**Comissão Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup>. Patrícia Della Mea Plentz, Dra.

---

Prof<sup>o</sup>. Mauro Roisenberg, Dr.

---

Prof. Edson Roberto de Pieri, Dr.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao David. Por sua infinita paciência.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus pela presença em momentos difíceis.

Agradeço a Professora Patrícia, pelo desafio de trabalhar na fascinante área da Robótica e pelo apoio durante todo o trabalho.

Agradeço aos professores do departamento de Sistemas de informação pela formação acadêmica proporcionada.

Agradeço ao meu esposo pela paciência e compreensão durante os finais de semana que não tivemos.

Agradeço ao meu amado irmão, por sua alegria que sempre me contagiava.

Agradeço aos meus pais, que me ensinaram o valor do conhecimento.

Agradeço a todos os verdadeiros amigos e companheiros que conheci ao longo do curso, pois sem eles não teria chegado aqui.

*“So far as the laws of Mathematics refer to reality, they are not certain. And so far as they are certain, they do not refer to reality.”*

Albert Einstein

## RESUMO

Ontologias são usadas para facilitar a comunicação e processamento de informação semântica. Promovem também interoperabilidade entre sistemas computacionais quando representam os dados compartilhados por várias aplicações. No domínio da Robótica, têm auxiliado na representação de ambientes e na comunicação entre robôs e humanos. Na interação homem-robô, faz-se necessário que o robô entenda o ambiente da mesma forma que os humanos, aprendendo os conceitos comuns do espaço como, por exemplo, “sala”. No entanto, existem situações em que a definição de conceitos e relacionamentos é imprecisa e, portanto, são inadequadamente representadas por ontologias tradicionais. Neste sentido, o trabalho apresenta uma ontologia *fuzzy* que permite representar e inferir informação imprecisa em ambientes usando robôs móveis.

**Palavras-chave:** Ontologia *Fuzzy*. Robótica. Semântica.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa topológico de um ambiente de escritório.....	p.17
Figura 2.	Classificação dos trabalhos na área de mapeamento semântico	p.19
Figura 3.	Funções de pertinência para a variável temperatura.....	p.21
Figura 4.	Exemplo de sistema de inferência <i>fuzzy</i> .....	p.22
Figura 5	Exemplo de ontologia de domínio.....	p.24
Figura 6	Representação da camada abstrata do relacionamento <i>fuzzy</i> .....	p.25
Figura 7	Arquitetura multicamadas.....	p.27
Figura 8	Arquitetura do framework OMRKF.....	p.28
Figura 9	Robô físico Pioneer P3-DX.....	p.29
Figura 10	Exemplo de um aplicação no simulador MobileSim.....	p.30
Figura 11	Módulo de Inferência sobre ontologias <i>fuzzy</i> .....	p.31
Figura 12	Ambiente do robô Pioneer P3-DX.....	p.33
Figura 13	Ontologia tradicional utilizada na aplicação.....	p.34
Figura 14	Robô se deslocando pelo ambiente.....	p.34
Figura 15	Ontologia <i>fuzzy</i> representando áreas e objetos.....	p.34

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

W3C - World Wide Web Consortium

OWL - Web Ontology Language

RDF - Resource Description Framework

HSSH - Hybrid Spacial Semantic Hierarchy

GUI - Graphical User Interface

OMRKF - Ontology-based multi-layered robot knowledge framework

API - Programming Interface

ARIA - Advanced Robotics Interface for Applications

TCP - Transmission Control Protocol

# SUMÁRIO

RESUMO.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE ABREVIATURAS.....	
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
2.1 Revisão Bibliográfica .....	16
2.1.1 Mapeamento de ambientes em Robótica .....	16
2.1.1.1 Mapas com informação espacial.....	16
2.1.1.2 Mapas com informação semântica.....	18
2.1.2 Lógica <i>Fuzzy</i> .....	20
2.1.2.1 Princípios Básicos.....	20
2.1.2.2 Implicação Lógica e Regras de Inferência.....	21
2.1.2.3 Fuzzificação e Defuzzificação.....	22
2.1.3 Ontologias.....	23
2.1.3.1 Ontologia <i>Fuzzy</i> .....	25
2.1.4 Trabalhos Relacionados.....	26
3 CONDIÇÕES DA SIMULAÇÃO .....	29
3.1. Ferramentas.....	29
4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS PRELIMINARES.....	31
4.1. Experimento Preliminar: Mapa Conceitual com Ontologia Tradicional.....	33
4.2. Experimento Preliminar: Mapa Conceitual com Ontologia <i>Fuzzy</i> .....	35

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	36
REFERÊNCIAS .....	



## INTRODUÇÃO

A maior parte dos mapas utilizados em tarefas por robôs móveis possui apenas informações espaciais do ambiente, rejeitando dados que permitiriam a criação de trabalhos complexos, como por exemplo, situações de resgate. Nesse tipo de situação, seria fundamental o robô reconhecer objetos e pessoas e tomar decisões baseado nos dados fornecidos.

Uma possível representação do espaço consiste em adicionar conhecimento semântico aos mapas métricos, com segmentação do ambiente e rotulação das partes detectadas, gerando assim um mapa semântico, dado que a maioria dos robôs têm sensores de distância e sistemas de visão [8].

Os mapas semânticos são muito úteis para o planejamento de tarefas do robô, o qual geralmente exige um conhecimento correto do ambiente. Esse conhecimento significa perceber o mundo, os objetos do mundo, suas propriedades e relações. Por exemplo, dada a ação “No departamento de Informática e Estatística do curso de Sistemas de Informação, vá até a sala do professor da disciplina de compiladores”.

Neste contexto, o robô precisa saber:

- O que significa departamento;
- A existência de um curso relacionado a esse departamento;
- A existência de uma sala pertencente a um professor que leciona a disciplina de compiladores;

Existe um crescente interesse dos pesquisadores da área de robótica em utilizar mapas semânticos, os quais integram conhecimento semântico aos mapas tradicionais. Os mapas com semântica podem oferecer ao agente autônomo habilidade de dedução e inferir informações a partir do seu mundo, mesmo quando ele não tem completo reconhecimento do ambiente [11].

Recentes trabalhos têm abordado a questão da construção e uso dos mapas semânticos [12], no entanto, não há um consenso quanto à forma de representação dos mesmos. Uma maneira de padronizar o conhecimento semântico desses mapas seria a construção de uma ontologia, a qual permitiria uma especificação explícita – elementos e

restrições claramente definidos; formal – passível de processamento automático e compartilhada – consensual em um domínio [3].

Uma questão ainda em aberto na concepção de mapas semânticos é o tratamento das incertezas inerentes ao ambiente. Por exemplo, é difícil tratar nas ontologias convencionais o conceito de “alto”, “baixo” ou “jovem”, para os quais não é possível adquirir uma definição clara e precisa [33]. Outra questão é o tratamento de ambigüidade, o qual seria atribuir um determinado grau que representa a intensidade com a qual instâncias são relevantes em um contexto [30].

É justificável o fato de adicionar incerteza ao conhecimento semântico em ambientes robóticos, pois uma infinidade de comportamentos, ações e conhecimento estaria disponível para o agente móvel autônomo, permitindo a execução de tarefas mais complexas.

# 1 TEMA

## 1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é propor o uso de ontologia *fuzzy* para representação e extração de conhecimento impreciso em ambientes para robôs móveis.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- 1- Criar uma ontologia *fuzzy* com conhecimento do ambiente que atribua informação semântica imprecisa às informações extraídas dos sensores do robô;
- 2- Possibilitar inferência de informação imprecisa solicitada por um humano ao robô;

## 1.2 Organização da Monografia

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: o capítulo 2 apresenta alguns conceitos fundamentais para entendimento da proposta; o capítulo 3 mostra os detalhes dos requisitos para simulação dos experimentos; capítulo 4 descreve os experimentos realizados para validação da proposta e no capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e sugestão para trabalhos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Revisão Bibliográfica**

#### **2.1.1 Mapeamento de ambientes em robótica**

##### **2.1.1.1 Mapas com informação espacial**

Um mapa é a descrição de um ambiente, permitindo a um agente, seja um ser humano ou, no caso do presente trabalho, um robô móvel, planejar e executar eficazmente as ações. Os sensores de um robô, responsáveis por mapear o mundo, não podem observar toda a estrutura de um ambiente complexo. Por esta razão, um agente móvel deve construir um mapa, dinâmico ou estático, a partir de observações recolhidas ao longo do tempo e do espaço [1].

A área de mapeamento esteve bem dividida entre abordagens métricas e topológicas até o início dos anos 90. A primeira abordagem foca numa representação geométrica precisa do ambiente, porém limitada pelas incertezas nas extrações dos dados dos sensores de distância e na odometria dos robôs móveis [8].

Os mapas métricos então evoluíram para modelos implementados de acordo com a teoria da probabilidade [20]. Os modelos probabilísticos se mostraram mais eficientes porque incorporavam naturalmente a incerteza existente em uma aplicação real, realizando estimativa dos erros na leitura dos sensores, tornando o robô menos suscetível a falhas durante sua dinâmica na ambiente.

Alternativamente surgiram os mapas topológicos, os quais representavam o espaço por meio de áreas distintas e conexões físicas entre as mesmas, resultando em um mapa mais parecido com um esquema.

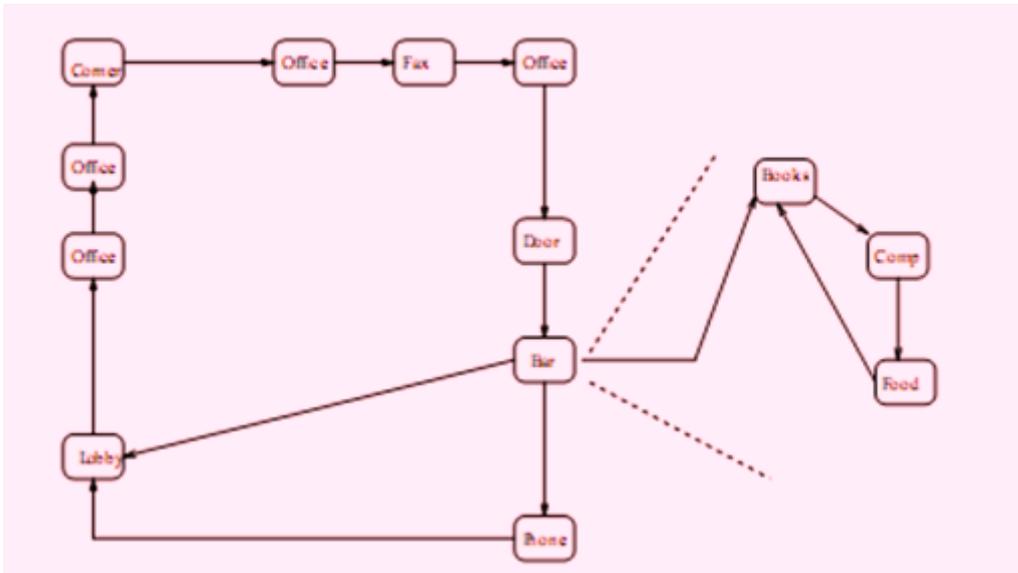


Figura 1- Mapa topológico de um ambiente de escritório, com salas e respectivos objetos do ambiente. As setas correspondem às relações entre pontos ou regiões do ambiente.[27]

A Figura 1 mostra um exemplo de um mapa topológico. Esse mapa contém relacionamentos qualitativos entre os objetos e regiões do ambiente, como corredores, portas, livros, entre outros. No exemplo é possível ao robô se deslocar entre vários sub-grafos, como entrar em um bar e depois se deslocar para uma livraria.

O mapeamento topológico geralmente envolve a representação local dos dados e informações sobre como se locomover de um lugar para outro. No entanto, alguns problemas dificultavam a construção de um mapa coerente, tais como leituras semelhantes representando lugares distintos.

É importante frisar que os mapas topológicos foram criados com o objetivo de conceber representações de ambientes semelhantes a utilizadas pelos seres humanos em modelos cognitivos do espaço.

Mais recentemente, um novo tipo de mapeamento se tornou bastante popular: os mapas híbridos. Este tipo de mapeamento usa tanto mapas métricos para garantir a navegação com maior precisão, como mapas topológicos para oferecer uma visão global do ambiente e permitir a locomoção entre os locais [29].

### 2.1.1.2 Mapas com informação semântica

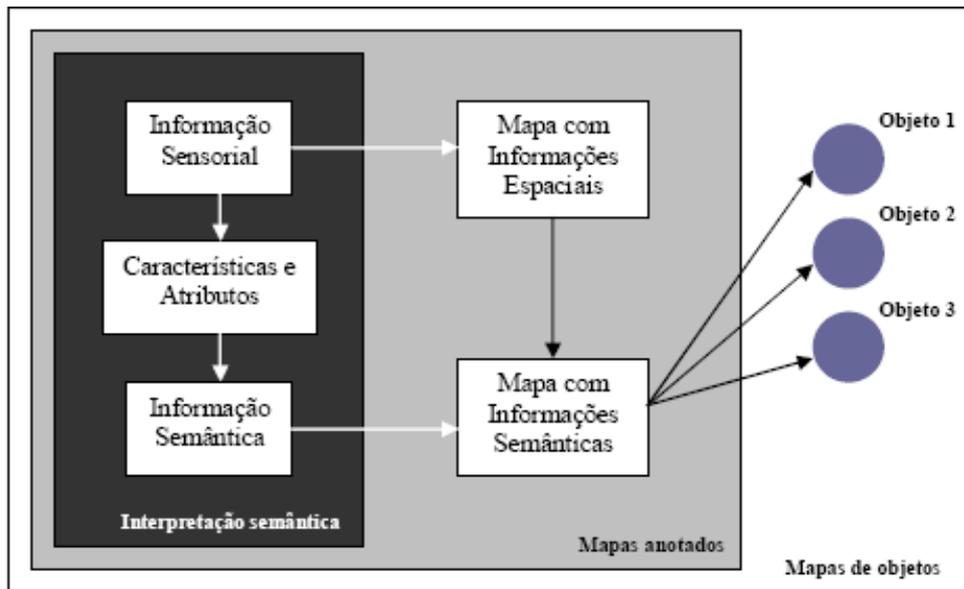
Há uma crescente tendência na área para usar os robôs em aplicações como assistência aos humanos em situações específicas e entretenimento [4]. Para tanto, faz-se necessária a capacidade de interagir com as pessoas através de uma linguagem comum, o que impõe ao projeto desses robôs adotarem uma representação do ambiente com conceitos humanos e semânticos [11].

Toda propriedade do espaço pode ser representada em um mapa, mas a grande maioria dos mapas construídos por agentes móveis consiste em representações métricas do ambiente. O mapeamento semântico vem preencher essa lacuna, representando não só os dados métricos, mas também outras propriedades do ambiente, atribuindo significados aos dados coletados pelos sensores.

Não é recente o interesse de incorporar semântica nas relações espaciais no ambiente. Porém as soluções apresentadas careciam de um modelo adequado para implementar a representação semântica. Trabalhos como o de Mozos apresentaram novas formas de representação de ambientes, possibilitando classificar diferentes tipos de lugares disponíveis em um mapa. Um robô com essas informações pode se dirigir a um lugar específico sem maiores dificuldades [Mozos et al., 2007].

Em [Tapus et al., 2006], informação semântica é incorporada a um mapa, possibilitando ao robô interagir com humanos. Outra abordagem consiste em modelar objetos do ambiente, criando mapa de objetos, com os quais é possível monitorar as mudanças em ambientes dinâmicos.

É proposta na Figura 2 uma classificação para os mapas semânticos de acordo com alguns recentes trabalhos. Essa classificação leva em consideração as informações semânticas relacionadas com os elementos do espaço extraídos dos sensores do robô:



**Figura 2- Classificação dos trabalhos na área de mapeamento semântico com enfoque no relacionamento elementos do ambiente e informação semântica [8].**

Os mapas de objetos nada mais são que os mapas métricos com a representação dos objetos do meio. Isso possibilita inferir sobre os próprios objetos e tratar apropriadamente a dinâmica do ambiente. Esses mapas surgiram há pelo menos 10 anos atrás, com a convergência da literatura de visão computacional e fotogrametria, ainda em estágio inicial de desenvolvimento.

Os mapas anotados também são mapas métricos. O que os diferem é a forma de discretizar cada unidade mapeada e sua classificação em categorias semânticas. Essas categorias são pré-estabelecidas e o propósito dessa classificação é dividir as leituras dos sensores em grupos que possuam semelhança. Cada grupo restringe o espaço de busca, facilitando tarefas como planejamento de trajetórias e interação homem-máquina.

É importante salientar que a maioria dos trabalhos acima citados tem como principal preocupação o processo de mapeamento semântico, pressupondo a existência de um consistente mapa métrico.

## 2.1.2 Lógica *Fuzzy*

A lógica difusa ou *fuzzy* é uma das mais populares tecnologias baseadas em inteligência artificial e foi estabelecida como um algoritmo capaz de simular o raciocínio humano. Foi concebida como um caminho para propor um algoritmo de processamento suave de informações que permite trabalhar com dados vagos e ambíguos [24].

A teoria dos conjuntos nebulosos ou *fuzzy sets* foi criada por Lofti Zadeh [31]. A principal argumentação de Zadeh é que, embora a teoria das probabilidades seja apropriada para medir a aleatoriedade da informação, ela não é apropriada para medir o significado da informação. Zadeh propõe a teoria das possibilidades como medida de vagueza, da mesma forma que a teoria das probabilidades mede a aleatoriedade [31].

### 2.1.2.1 Princípios básicos

A ciência da computação é baseada na bivalência. Isso significa a utilização de dois valores: ou algo é verdadeiro ou não-verdadeiro. No entanto, há uma desproporção entre a visão real do mundo e a nossa visão bivalente do mesmo. Um exemplo dessa contradição são os diagnósticos médicos: o médico precisa contabilizar uma quantidade enorme de fatores diferentes e descrever a doença do paciente. A verdade absoluta sobre uma questão parece existir somente em casos derradeiro [26].

Como os computadores podem apenas “raciocinar” de forma bivalente, os mesmos não conseguem entender os termos *fuzzy* da comunicação humana. A lógica *fuzzy* pode preencher essa lacuna e traduzir os graus de liberdade das afirmações de forma que as máquinas possam processar tal informação.

Zadeh [32] propôs uma generalização da função característica dos conjuntos de modo que a mesma pudesse assumir um número infinito de valores entre [0,1]. Um Conjunto *fuzzy* A em um universo X é definido por uma função de pertinência:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1],$$

e representado por um conjunto de pares ordenados:

$$A = \{\mu_A(x)/x\} \quad x \in X$$

onde  $\mu_A(x)$  indica o quanto x é compatível com o conjunto A. Um dado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *fuzzy*, com diferentes graus de pertinência [17].

A teoria de Zadeh também expressou o conceito de variáveis lingüísticas. Uma variável lingüística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos *fuzzy*. Um

exemplo do que pode ser uma variável lingüística é a temperatura de um determinado processo, podendo a mesma assumir valores como baixa, média e alta. A descrição desses valores é feita por intermédio de conjuntos *fuzzy*, através de funções de pertinência.

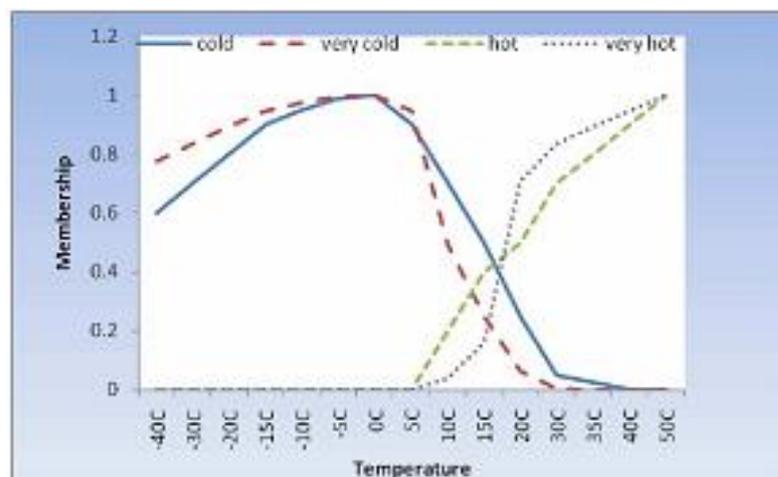


Figura 3 - Funções de pertinência para a variável temperatura

A Figura 3 demonstra que a função de pertinência retorna as temperaturas 10°C, 20° ou 40° quando recebe como entrada as condições climáticas “quente” ou fria”.

Funções de pertinência podem apresentar diferentes formas, dependendo do conceito que se pretende representar e do contexto em que serão usadas. Elas também dependem do universo de discurso que se deseja relevar e são definidas a partir da experiência e perspectiva de quem os usa [26].

Existem funções de pertinência padrões, como as de forma triangular, trapezoidal e Gaussiana. Em aplicações, as formas podem variar de acordo com os resultados observados.

### 2.1.2.2 Implicação lógica e regras de inferência

Outro aspecto importante a se considerar quando se fala de conjuntos *fuzzy* é a implicação lógica, que consiste na determinação de uma conexão possível entre causa e efeito, ou uma condição e sua consequência. As regras de inferência geralmente têm o a forma do tipo SE causa=A e causa=B e ENTÃO efeito=C, onde A, B e C são conjuntos.

Na lógica *fuzzy* existe um raciocínio com números e conjuntos *fuzzy*, as regras podem ser consideradas como regras práticas, como no exemplo a seguir:

SE trânsito está PESADO na Rua X ENTÃO mantenha o semáforo verde MAIS TEMPO ACESO, onde os termos PESADO e MAIS TEMPO ACESO representam

conjuntos *fuzzy*. PESADO é uma função de define o grau de intensidade do trânsito e MAIS TEMPO ACESO define o grau de duração do tempo de operação de um semáforo. A possível inteligência atribuída a um controlador de semáforo seria associar os termos *fuzzy* definidos através de regras de inferência *fuzzy*, na forma SE... ENTÃO [26].

### 2.1.2.3 Fuzzificação e defuzzificação

Em um sistema de inferência *fuzzy* são consideradas as entradas não-*fuzzy* ou precisas (conjunto de dados observados em um domínio). Estes dados precisam então serem mapeados para conjuntos *fuzzy* de entrada relevantes ao sistema. Esse processo de transformação de valores precisos em valores *fuzzy* é denominado fuzzificação.

No processo inverso, ou seja, na saída dos dados resultantes do processo de inferência (modus ponens generalizado), chamado este de defuzzificação, uma interpretação das informações é realizada, implicando em valores esperados da variável para uma particular execução no conjunto *fuzzy*.

Existem dois métodos de defuzzificação mais empregados na literatura: o centro de gravidade e a média dos máximos. No primeiro, a saída corresponde ao valor no universo que divide a área sob a curva da função de pertinência em duas partes iguais. No segundo, a saída precisa é obtida tomando-se a média entre dois elementos extremos no universo, ou seja, correspondem aos maiores valores da função de pertinência do conseqüente.

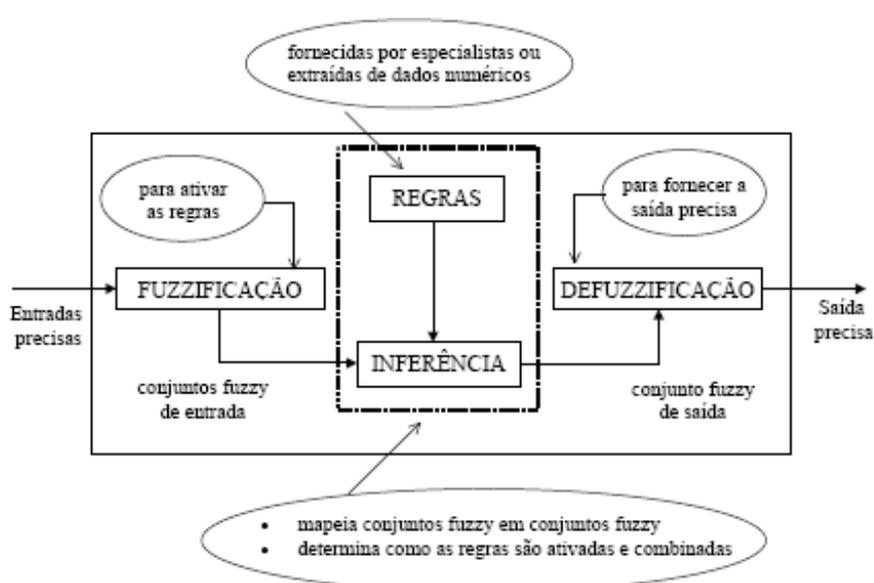


Figura 4- Exemplo de sistema de inferência *fuzzy* [28]

### 2.1.3 Ontologias

A palavra ontologia vem do grego ontos(ser) + logos(palavra). Ontologia, na Filosofia, é definida como a ciência do que é, dos tipos de estruturas dos objetos, propriedades, eventos, processos e relacionamentos em todas as áreas da realidade.

A primeira estrutura de classificação foi proposta por Aristóteles. Desde então, várias definições foram propostas, e uma dessas definições se considera a ontologia como uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada [14].

Segundo o consórcio W3C (*World Wide Web Consortium*), uma ontologia é a “definição dos termos utilizados na descrição e na representação de uma área de conhecimento”. A W3C ainda coloca que ontologias devem prover descrições para os seguintes tipos de conceitos:

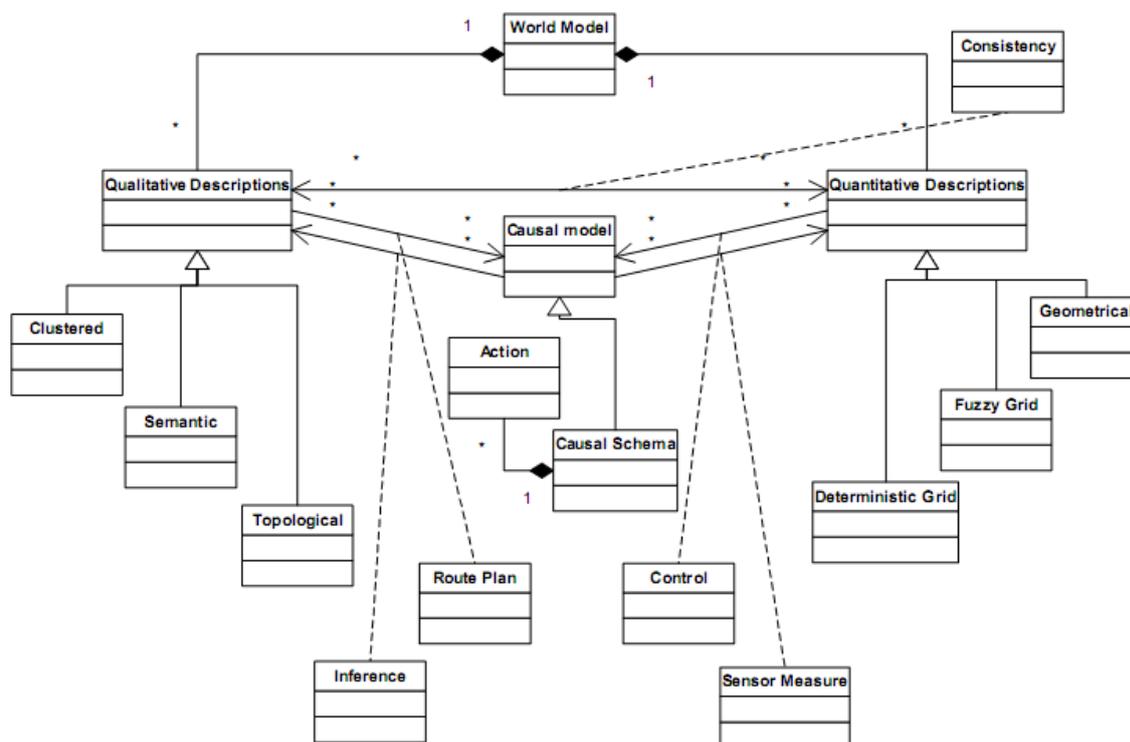
- Classes – dentro dos vários domínios de interesse,
- Relacionamentos entre essas classes,
- Propriedades (ou atributos) que essas classes devem possuir.

Em [17], há uma proposta de definir uma ontologia como uma 5-tupla composta por elementos tais como: conceitos, relacionamentos, hierarquia de conceitos, função que relaciona conceitos e um conjunto de axiomas. Ontologia com essa estrutura facilmente podem ser mapeadas para a maioria das linguagens para descrição de ontologias existentes [18].

Quanto à classificação, ontologias podem ser classificadas segundo seu espectro semântico e quanto à generalidade. Na primeira, tem-se como exemplo as ontologias que exprimem valores e restrições lógicas.

A segunda classificação diz respeito ao critério principal, que é a generalidade da ontologia. De acordo com [13], as ontologias podem ser:

- De nível superior: para conceitos muito genéricos, independentes do domínio e reutilizáveis;
- De domínio: relativo a um domínio específico descrito através da especialização de conceitos presentes na ontologia de alto nível;
- De tarefas: relativo a uma tarefa específica genérica ou uma atividade;
- De aplicação: ontologias mais específicas. Correspondem, geralmente, a papéis desempenhados por entidades do domínio no decorrer de uma tarefa. Esse tipo de ontologia será utilizado no presente trabalho para representar o domínio do problema de representação do ambiente do robô. A Figura 5 apresenta uma representação de uma ontologia de domínio para descrever conceitos de um ambiente operacional de um robô.



**Figura 5- Exemplo de ontologia de domínio. Nessa ontologia, conceitos qualitativos e quantitativos do domínio do robô são representados, como Sensor Measure [7]**

Uma questão relevante quando se fala em ontologias diz respeito ao formato para expressá-las para uso em uma aplicação. Uma das formas de expressão de ontologias é a linguagem de marcação OWL – *Web Ontology Language*. Trata-se de uma linguagem de marcação semântica desenvolvida para a publicação do conhecimento na web ou em aplicações específicas, sob recomendação da W3C, feita como extensão da RDF (*Resource Description Framework*) [9].

A OWL possui ainda três sub-linguagens, da menos expressiva para a com maior expressividade: OWL-Lite, OWL-DL e OWL-Full. Vale salientar que a última fornece a máxima expressividade e liberdade sintática da RDF, porém é improvável que algum software de inferência seja capaz de suportar todos os recursos da OWL-Full.



A Figura 6 apresenta um exemplo de uma meta-ontologia difusa com uma ontologia de domínio, através da qual elementos são herdados e instanciados para representar classes *fuzzy*. As elipses em branco representam essas classes; as elipses cinza correspondem às instâncias. Nesse exemplo é ilustrado um relacionamento de similaridade chamado *similarTo* entre tomate e caqui com grau de similaridade igual à 0.7. [30]

Ainda com relação à Figura 6, a classe *FuzzyConceptMembership* possui informações sobre as classes difusas, tais como:

- Relacionamento *fuzzyMembership*: instância da ontologia que pertence a uma classe difusa;
- *FuzzyConcept* para classe *FuzzyConcept*: classe difusa;
- *MembershipDegree*: grau de pertinência;
- *FuzzyRelationProp*: relacionamento difuso;
- *FuzzyRelationDomain* e *fuzzyRelationRange*: instâncias;

## 2.1.4 Trabalhos relacionados

Vários trabalhos têm referenciado a representação de mapas métricos de ambientes com informação semântica. [Mozos et al., 2007] propõe um modelo multicamadas para criação de representação conceitual de ambientes, como mostra a Figura 7.

Na arquitetura proposta por Mozos, ilustrada na Figura 7, a camada de baixo nível contém um mapa métrico, um mapa de navegação e um topológico. No nível mais alto da arquitetura, um mapa conceitual provê uma ontologia tradicional que contém informação adquirida, expressa e inferida sobre o espaço. Todo o modelo de representação é criado através de um processo de aquisição de um mapa semi-supervisionado, o qual é auxiliado por um framework lingüístico. A comunicação do humano com o robô é feita inteiramente usando linguagem natural e diálogo [23].

[Beeson et al., 2008] introduz o conceito de *Hybrid Spacial Semantic Hierarchy(HSSH)*. Através desse *framework*, um robô móvel pode descrever o espaço usando diferentes representações, cada qual com sua própria ontologia.

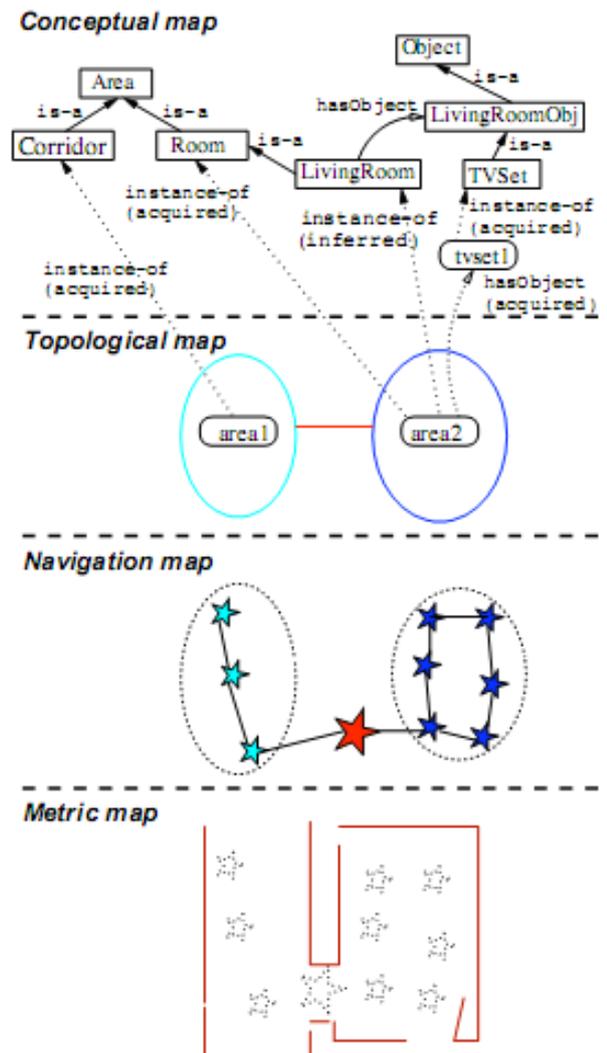


Figura 7- Arquitetura multicamadas proposta por [Mozos et al., 2007]. No exemplo, na camada chamada de mapa conceitual, o conhecimento sobre o ambiente é representado por uma ontologia, onde as setas pontilhadas representam conhecimento adquirido, inferido e expresso sobre o ambiente do robô [5].

O trabalho é voltado para construção de mapas conceituais de áreas totalmente visíveis aos sensores de um robô móvel. A interação homem-robô é realizada através de linguagem natural; de uma GUI (*Graphical User Interface*) e de um joystick.

Semelhante ao trabalho de Mozos, [Hong et al., 2007] propõe uma arquitetura também multicamadas para representação de ambientes de um robô móvel chamada *Ontology-based multi-layered robot knowledge framework* (OMRKF). Conforme mostra a figura 8, o *framework* se divide em dois tipos de ontologias: uma orientada ao robô, com representação de conceitos tais como sensores e comportamento robótico; outra com conhecimento da perspectiva de um humano, com o objetivo de melhorar a comunicação entre homem e robô.

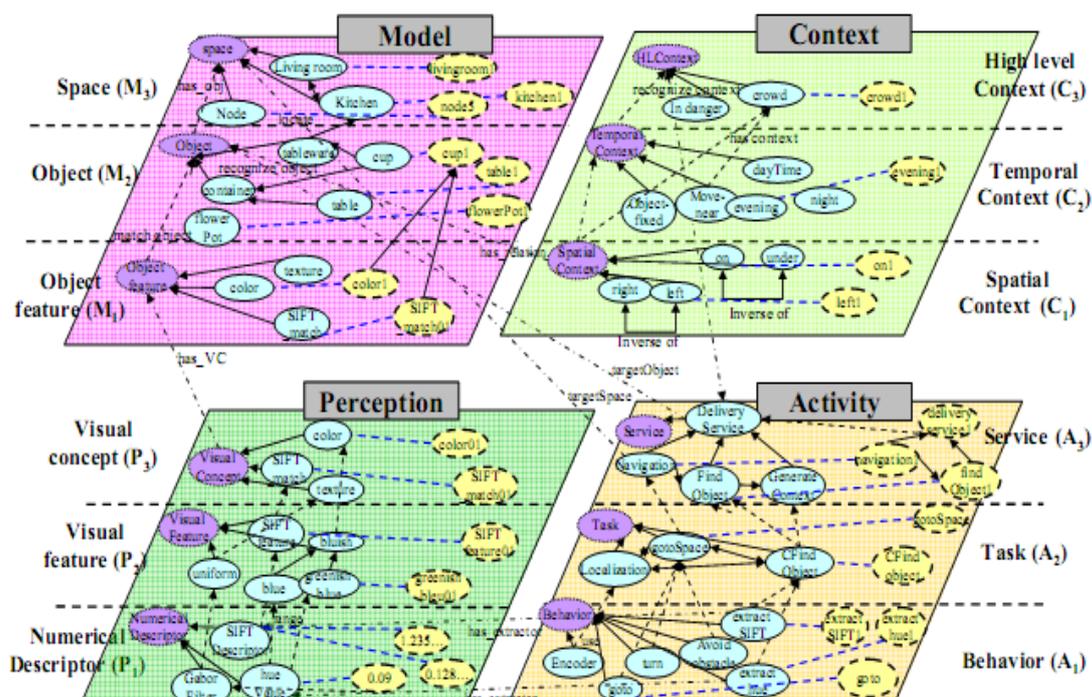


Figura 8- Exemplo do framework OMRKF. São 4 níveis de conhecimento: Percepção, Modelo, Contexto e Atividade. Cada nível possui 3 subníveis: alto, médio e baixo nível. Cada subnível possui 3 ontologias: uma camada com uma meta-ontologia layer, uma ontologia e uma camada que representa a instância da ontologia [27].

Na proposta de [Mozos et al., 2007] não ficou claro como o problema de ambigüidade é tratado com o uso de ontologias tradicionais, assim como também nos demais trabalhos mencionados não foi levado em consideração o tratamento de situações ambíguas na comunicação entre robô e humano.

Comparado com os trabalhos anteriormente mencionados, este trabalho usa ontologia *fuzzy* para representação conceitual do ambiente, permitindo inferir sobre informações incertas provindas da comunicação entre homem e robô, com tratamento de ambigüidade entre conceitos presentes no contexto da aplicação.

## 3 CONDIÇÕES DA SIMULAÇÃO

### 3.1. Ferramentas

As simulações foram realizadas no software *MobileSim* [21]. Este software simula o robô *ActiviMedia Pioneer 3DX*, que constitui uma ferramenta para testes e implementação de vários tipos de robôs e controladores robóticos. Como mostra a figura 9, o robô *Pioneer 3DX* é equipado com *laser SICK LMS200* [34], o qual será usado para criação do mapa métrico e classificação semântica do ambiente simulado.

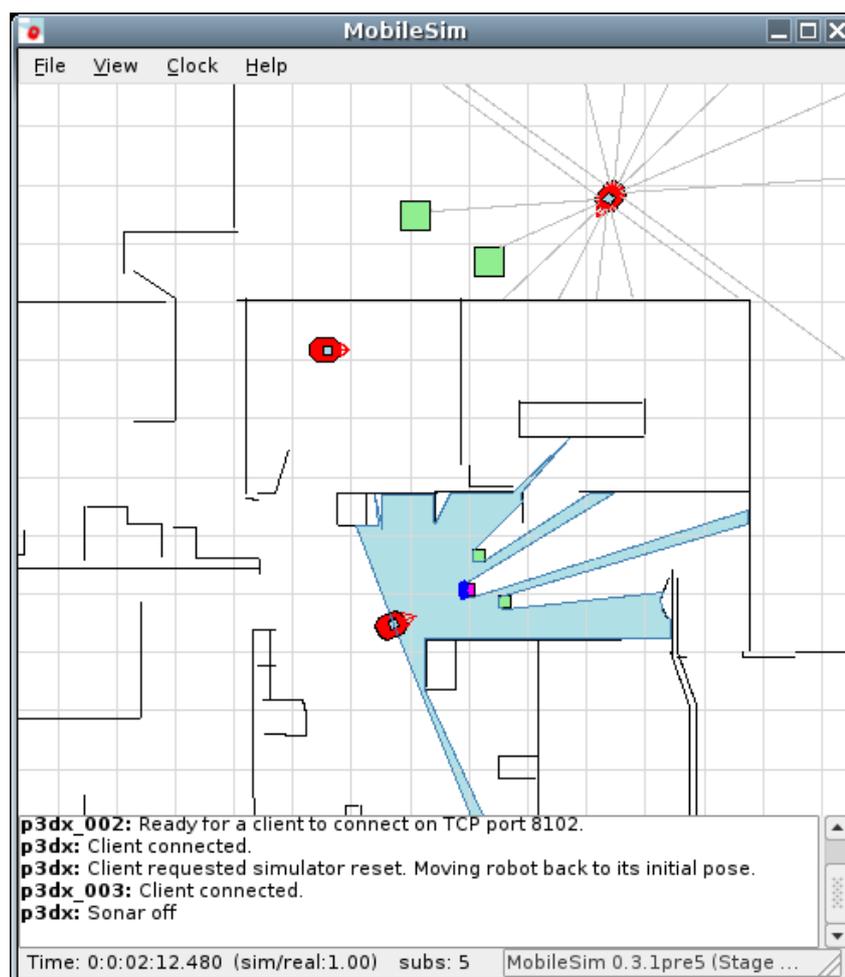
Também foi utilizada a *Application Programming Interface* (API) para desenvolvimento de aplicações da *MobileRobots* chamada *ARIA* (*Advanced Robotics Interface for Applications*). *ARIA* provê uma interface para programação de um controlador a ser testado futuramente em um robô *Pioneer 3DX* real. Essa API oferece várias bibliotecas com recursos, tais como síntese e reconhecimento de voz; gravação de áudio, reprodução e transmissão em rede via TCP (*Transmission Control Protocol*); captura de imagem e vídeo, entre outros.

A linguagem de desenvolvimento padrão utilizada no *ARIA* é C++, no entanto, recentemente, a API disponibilizou bibliotecas para desenvolvimento em *Java* e *Phyton*. Nesse trabalho foi utilizada a linguagem *Java* para criação do controlador robótico. Logo, todos os algoritmos para implementação do controlador foram escritos nessa linguagem.



Figura 9- O robô físico Pioneer P3-DX

Especificamente, o ambiente foi projetado para reproduzir parcialmente o ambiente do quinto andar do Departamento de Informática e Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina. Para criação do ambiente de teste foi utilizado o software *Mapper3* [19], o qual possibilita a criação e edição de mapas, além de permitir adicionar objetivos e objetos, pontos proibidos, entre outros. A figura 10 mostra um exemplo de uma aplicação desenvolvida no simulador *MobileSim*:



**Figura 10- Exemplo de um aplicação no simulador MobileSim. Esse software foi utilizado para depuração e visualização do controlador desenvolvido com a API ARIA.**

A ontologia *fuzzy* desenvolvida no trabalho para permitir a representação semântica do ambiente se baseia na linguagem OWL DL [Smith et al.2004], por esta ser uma linguagem recomendada pela *World Wide Web Consortium (W3C)*. A OWL conta com uma diversidade de máquinas de inferência e API. No presente trabalho utilizou-se o módulo de inferência sobre ontologias difusas implementado em [Yaguinuma et al., 2007], o qual se baseia no *framework Jena* [Carrol et al.2004]. Conforme descreve a figura 11, o módulo de inferência não sofreu alterações uma vez que realiza a inferência sobre ontologias difusas sem necessidade de mudanças no *reasoner*.



Figura 11- Módulo de Inferência sobre ontologias difusas. No trabalho [Yaguinuma, 2007] não foi alterado o *reasoner* do *framework* Jena, mas sim usado o modelo nativo para inferência sobre ontologias difusas.

Não é o objetivo do presente trabalho focar na plataforma para diálogo entre robôs e humanos. Procurou-se abstrair a maneira como o humano interage com o robô, podendo ser por comando de voz ou texto. Devido às limitações da biblioteca ARIA para implementação de síntese e reconhecimento de voz para aplicações simuladas, optou-se por simular a comunicação com o robô via comando de texto integrado com o software *Stanford Named Entity Recognizer* [10] para processamento de linguagem natural.

## 4 EXPERIMENTO E RESULTADOS RELIMINARES

Esta seção apresenta os resultados preliminares da simulação computacional realizada a partir da proposta deste trabalho.

Não está no escopo do presente trabalho validar uma melhoria no framework proposto por [Mozos et al., 2007], no entanto, os experimentos realizados procuraram validar o tratamento de informação ambígua no contexto da aplicação. Mozos menciona no seu trabalho que conceitos ambíguos podem ser tratados na camada conceitual, conforme mencionado no capítulo anterior, porém não ficou claro como isso seria realizado. Ontologias tradicionais não tratam informação como graus de relevância e relacionamentos difusos, sendo as ontologias *fuzzy* mais adequadas.

Inicialmente, um experimento foi realizado com uma situação hipotética, no entanto, sendo a mesma possível de se reconstituir futuramente com um robô real.

No caso, uma pessoa inicia um diálogo com o robô via comandos de texto, enviando-o para a sala 504, do quinto andar do departamento. O robô começa o reconhecimento da área, construindo através da técnica SLAM, um mapa métrico do ambiente. Através da técnica apresentada em [16], um mapa de navegação é construído.

Conforme o robô navega através do ambiente, “marcos” são adicionados cada vez que o robô passa próximo a um marco já existente. Um grafo do relacionamento entre os

marcos encontrados pelo robô é construído e considerou-se apenas dois tipos de nós para navegação: *Room* e *Doorway*. O nó do tipo *Room* foi classificado em dois tipos: *Corridor* ou *Office*. No trabalho considerou-se que as portas encontradas no ambiente se encontram abertas, apesar de ser possível através de informações do laser, classificá-las como abertas ou fechadas.

Importante salientar que o mapa de navegação foi obtido em modo supervisionado [25], o que significa dizer que o robô foi primeiro treinado no ambiente já com os “marcos” classificados. Após a construção do mapa de navegação, dividiu-se o mapa adquirido em áreas, para posterior classificação semântica.

Com o objetivo de simplificar a aplicação, considerou-se apenas um objeto presente nos ambientes: um *laptop*. Logo, para a construção do mapa conceitual, o objeto do tipo *Laptop* foi adicionado à ontologia *fuzzy* construída.

Essa ontologia *fuzzy* contém a representação semântica do ambiente. A ontologia descreve a classe *FuzzyConceptMembership*, a qual contém as instâncias que pertencem a uma classe difusa; a classe difusa propriamente dita e o grau de pertinência correspondente.

Também fazem parte da ontologia os tipos *Area*, *Corridor* e *Room*. Assim, as instâncias do objeto e da área tem um relacionamento do tipo *fuz:hasPart*, segundo a proposta de [Yaguinuma et al., 2007].

A figura 12 mostra o ambiente criado no simulador e o início do reconhecimento do espaço realizado pelo robô. A partir dos dados dos sensores do robô (laser e odometria), os mapas métricos e de navegação são criados. O processo para obtenção dos mapas é supervisionada, ou seja, faz-se necessário o aprendizado prévio do ambiente por parte do agente móvel. Vale salientar que a construção concorrente dos mapas métrico e topológico propaga as informações de modo *bottom-up*, isto é, do nível de abstração mais baixo para o mais elevado, por exemplo, o nível onde tem-se a ontologia.

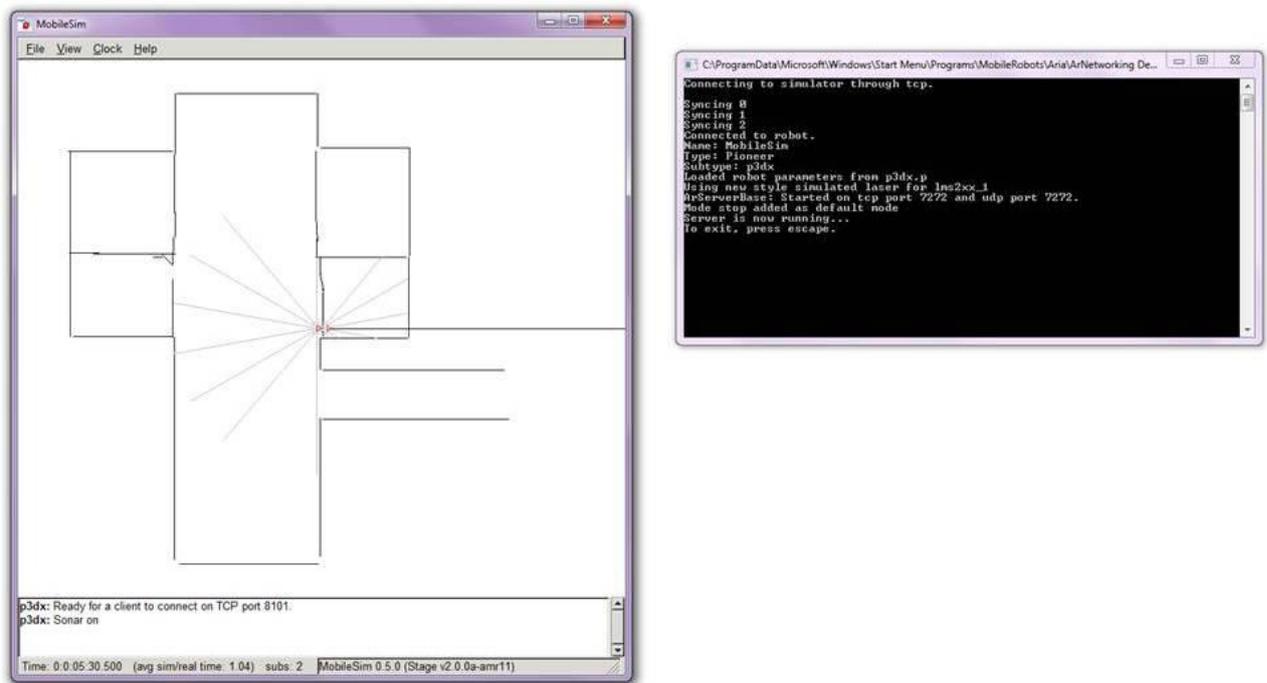


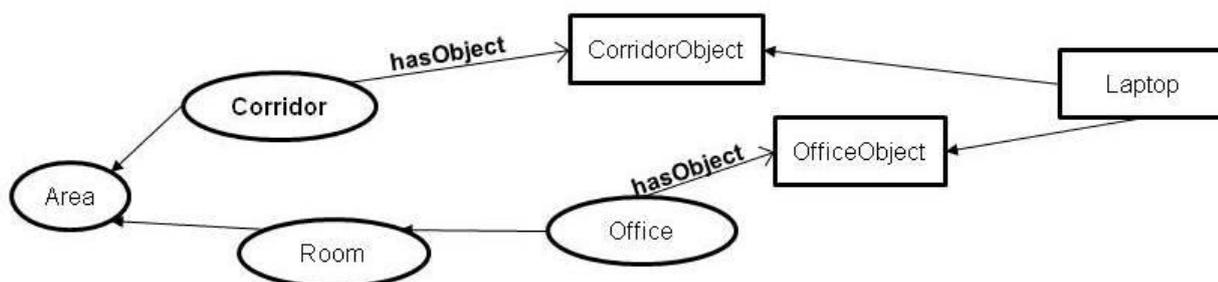
Figura 12- Ambiente com o robô *Pioneer P3-DX* durante simulação da aplicação.

Devido ao caráter experimental do trabalho, a aplicação foi implementada com o uso de algoritmo para detecção de objetos como o SIFT [16] juntamente com um algoritmo para classificação de lugares baseado no laser *SICK* para reconhecimento dos objetos encontrados no ambiente. Quando a pessoa envia um comando do tipo “*Vá até o corredor*”, o robô encontra o objeto “*Laptop*”, mas o reconhece devido às informações contidas primeiramente no mapa métrico e, em seguida no mapa conceitual, no caso, a ontologia *fuzzy*. Com o uso da máquina de inferência sobre a ontologia *fuzzy* do ambiente, o robô é capaz de inferir o ambiente onde se encontra.

#### 4.1 Experimento Preliminar: Mapa conceitual com Ontologia Tradicional

Este primeiro experimento tem por objetivo analisar o resultado do uso de ontologia tradicional para a situação descrita na seção anterior.

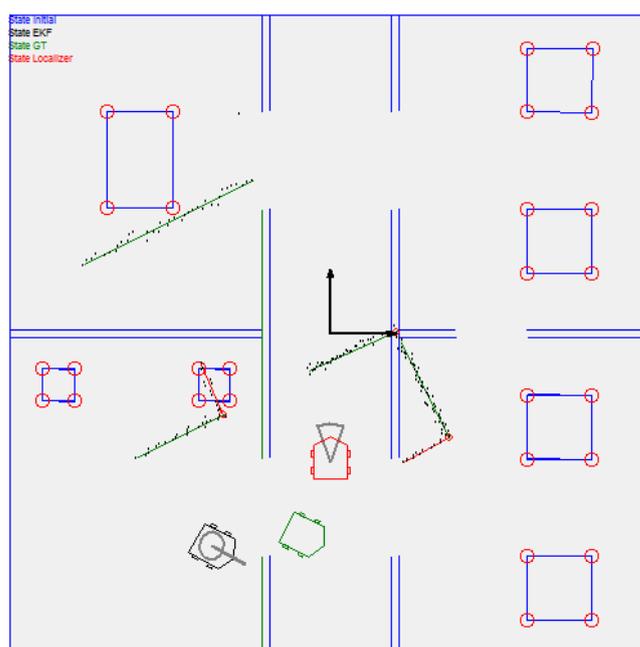
A primeira etapa do experimento inicia na sala 504 do quinto andar Departamento de Informática e Estatística. A aplicação inicia quando o robô recebe o comando “*Move*”, e logo começa a se mover pelo ambiente. Após se mover pelo ambiente, o usuário pergunta qual a sua localização e recebe como resposta “*Office*”, através do mecanismo de inferência sobre o objeto e o lugar.



**Figura 13-** Ontologia tradicional utilizada na aplicação. As elipses representam as classes da ontologia; os retângulos as instâncias das classes.

Posteriormente, o robô se dirige ao corredor do andar. Ao chegar ao corredor, encontra um laptop sobre um banco e, através dos mapas métrico e conceitual adquiridos, também reconhece o objeto. No entanto, ao ser perguntado novamente sobre o local onde se encontra, o robô responde erroneamente “Office” e “Corridor”. A figura 14 representa o robô se deslocando no ambiente criado e a visualização dos pontilhados verdes corresponde ao alcance dos sensores e reconhecimento dos obstáculos existentes no espaço

A Figura 13 mostra a ontologia tradicional usada na simulação. As classes e relacionamentos são do tipo não-difuso. As elipses representam as classes da ontologia e os retângulos as instâncias das classes.

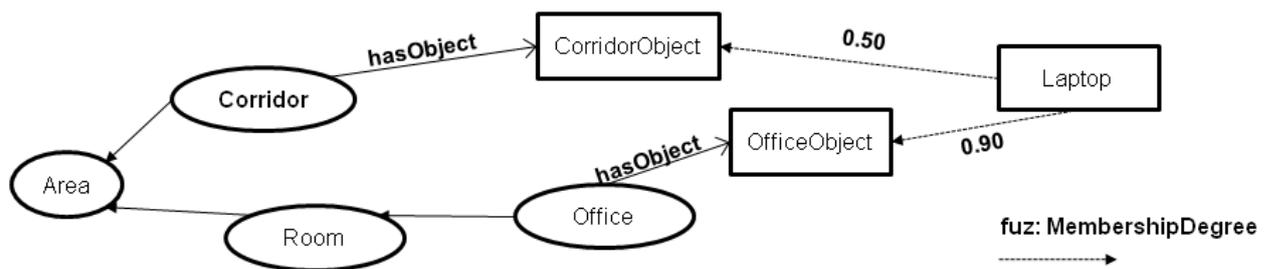


**Figura 14-** Robô se deslocando pelo ambiente. Os pontilhados verdes correspondem o alcance dos sensores e reconhecimento de obstáculos.

## 4.2 Experimento Preliminar: Mapa conceitual com Ontologia *Fuzzy*

O objetivo deste segundo experimento foi verificar o uso de ontologia *fuzzy* no contexto da aplicação, conforme o item anterior. Como mostra a Figura 15, os relacionamentos e classes difusas representam o ambiente e seus objetos. Os objetos e áreas são representados pelo relacionamento do tipo *MembershipDegree*. Esse relacionamento descreve o grau de pertinência do objeto Laptop para cada instância das áreas representadas.

Novamente, o robô inicia no mesmo local e recebe o comando “*Move*”. Então, o robô começa a se movimentar pelo ambiente. Logo em seguida, o usuário pergunta ao robô sobre sua localização e recebe como resposta, também através do mecanismo de inferência, mas dessa vez usando raciocínio difuso, “*Office*”.



**Figura 15-** Ontologia fuzzy representado as áreas e os objetos presentes no ambiente. O relacionamento *MembershipDegree* representa o grau de pertinência do objeto Laptop para cada instância das áreas *Office* e *Corridor*

Em um segundo momento, o robô se dirige para o corredor. Ao chegar, encontra o laptop sobre o banco. Através do mecanismo de raciocínio correspondente às definições da lógica difusa, ao ser perguntado novamente sobre o local onde se encontra, o robô retorna como resposta “*Corridor*”.

## 5 Conclusão e Trabalhos Futuros

Esta trabalho tratou o problema de ambigüidade em ambientes robóticos para um robô que utiliza mapas métrico, de navegação e semântico. O assunto tem atraído o interesse da comunidade de robótica, apesar de ainda pouco explorado, principalmente quando se refere ao uso de ontologias para representação conceitual do ambiente.

Um levantamento bibliográfico inicial sobre os assuntos relacionados ao mapeamento semântico foi apresentado, mostrando uma tendência da área de mapeamento para incluir informação semântica obtida diretamente dos sensores dos robôs móveis, como ocorre com a informação espacial.

Nesse trabalho, o mapa semântico do ambiente foi desenvolvido como uma forma de representar o conhecimento para o robô. Assim como nos trabalhos relacionados, uma representação hierárquica foi implementada com dois níveis: um espacial e um semântico. O nível espacial possui um mapa métrico com detalhes do ambiente, construído com um sensor laser *SICK*, por meio da técnica *SLAM*. No segundo nível se encontra as descrições dos objetos presentes no mapa e dos locais, como sala e corredor, representadas por ontologias de domínio.

As ferramentas de software e a metodologia criadas no presente trabalho produziram resultados satisfatórios no mapeamento semântico e na interação humano-robô. Mesmo assim, faz-se necessária uma análise mais detalhada da implementação, além de aplicações em ambientes mais complexos e com um robô real.

Como resultado deste trabalho foi confeccionado um artigo [35], o qual foi submetido para ao seguinte evento: *URAI 2010 - International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, sendo o artigo aceito nessa conferência para publicação. O *URAI* é um evento co-patrocinado pela *IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers*, cujo objetivo é apresentar trabalhos recentes na área de robôs ubíquos, robôs móveis, inteligência em ambientes robóticos, sensores e redes na robótica.

O relato dos revisores mostra que a proposta deste trabalho de conclusão de curso é bem aceita pela comunidade acadêmica e revela aspectos que suscitam continuidade e pesquisas futuras.

A conclusão mais importante deste trabalho se refere ao emprego de ontologia *fuzzy* no contexto do mapeamento semântico, pois esta se mostrou eficiente no tratamento de ambigüidade em um ambiente simples para um robô.

Trabalhos relacionados têm utilizado ontologias tradicionais para representar ambientes, entretanto, o uso de raciocínio difuso sobre ontologias ainda é um tema a ser explorado.

Como possíveis aplicações para esta representação seria o uso de ontologias *fuzzy* no contexto de situação de resgate, onde é preciso reconhecer com precisão os ambientes a fim de tomar as decisões adequadas.



## Referências:

- 1 BEESON P.; MACMAHON, M. Creating and Utilizing Symbolic Representations of Spatial Knowledge using Mobile Robots - Ph.D. Thesis, The University of Texas at Austin, 2008.m
- 2 BOUQUET, P.; EUZENAT, J.; FRANCONI, E.; SERAFINI, L.; STAMOU, G.; TESSARIS, S. (2004). Specification of a common framework for characterizing alignment. *IST Knowledge web NoE*, 2.2.1.
- 3 BREITMAN, K. K. Web Semântica: a internet do futuro / Karin Koogan Breitman. – Rio de Janeiro : LTC, 2005
- 4 BURGARD, W.; CREMERS, A.; FOX, D., HAHNEL, D., LAKEMEYER, G.; SCHULZ, D.; STEINER, W., THRUN, S. Experiences with an interactive museum tour-guide robot, *Artificial Intelligence* 114 (1–2) (2000) 11–18.
- 5 BUTLER, K., TEXAS A&M UNIVERSITY; TORRES, G.L. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Tutorial on Fuzzy Logic Applications in Power Systems Prepared for the IEEE-PES Winter Meeting in Singapore January, 2000
- 6 CALEGARI, S.; CIUCCI, D. Integrating Fuzzy Logic in Ontologies. *Enterprise Information Systems*, 8th International Conference, ICEIS 2006, Paphos, Cyprus, May 23-27, 2006, Revised Selected Papers 2008
- 7 CHELLA, A.; COSSENTINO, M.; PIRRONE, R.; RUISI, A. 2002. Modeling ontologies for robotic environments. In *Proceedings of the 14th international Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering* (Ischia, Italy, July 15 - 19, 2002). SEKE '02, vol. 27. ACM, New York, NY, 77-80.
- 8 CORRÊA, F.R. Mapeamento semântico com aprendizado estatístico relacional para representação do conhecimento em robótica móvel / F.R. Corrêa.—ed.rev.—São Paulo, 2009. 135p

- 9 D'AGOSTINI , C. S. Buscas semânticas com informação de contexto. Início: 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- 10 FINKEL, J. R.; GRENAGER, T.; MANNING, C. Incorporating Non-local Information into Information Extraction Systems by Gibbs Sampling. *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2005)*, pp. 363-370.
- 11 GALINDO, C.; FERNANDEZ-MADRIGAL, J.; GONZALEZ, J.; SAFFIOTTI, A. Robot Task Planning using Semantic Maps, in: ICRA Workshop: Semantic Information in Robotics, 2007.
- 12 GALINDO, C.; SAFFIOTTI, A.; CORADESCHI, S.; BUSCHKA, P.; FERNANDEZ-MADRIGAL, J.; GONZALEZ, J. Multi-hierarchical semantic maps for mobile robotics, in: Proc of the IEEE/RSJ Int Conf on Intelligent Robots and Systems (IROS), Edmonton, CA, 2005, pp. 3492–3497.
- 13 GARINO, N. Formal Ontology and Information Systems. In: Proceedings of the FOIS'98. Formal Ontology in Information Systems, Trento, 1998.
- 14 GRUBER, T.R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition – 5*: 199-220.
- 15 KRUIJFF, G.; ZENDER, H.; JENSFELT, P.; CHRISTENSEN, H. Situated dialogue and spatial organization: What, where... and why?, *Int. Journal of Advanced Robotic System* 4 (2) (2007) 125–138.
- 16 LATOMBE , J.C. Robot Motion Planning. Boston, MA: Academic Publishers, 1991.
- 17 LOWE , D.G. Object recognition from local scale-invariant features, in: International Conference on Computer Vision, 1999.
- 18 MAEDCHE, A. Ontology Learning for the Semantic Web. Kluwer Academic Publishers., 2002.
- 19 MAPPER for Windows, version 2.2.5: software for map designer, Mobile Robots.

- 20 MARCHI, J. ; PIERI, Edson Roberto de . Abordagens à Navegação de Veículos Móveis Autônomos: Construção de Sistemas Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial. In: ENIA 2001 - Encontro Nacional de Inteligência Artificial, 2001, Fortaleza. Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2001. v. I.
- 21 MOBILESIM for Windows, version 0.5.0: software for simulation, Mobile Robots. 21
- 22 MORAVEC, H.; ELFES, A. High resolution maps from wide angle sonar. In: IEEE Proceedings of the International Conference on Robotics & Automation (ICRA), pg: 116-121, St. Louis, 1985.
- 23 MOZOS, O.; JENSFELT, P.; ZENDER, H.; KRUIJFF, M.; BURGARD, W. From labels to semantics: An integrated system for conceptual spatial representations of indoor environments for mobile robots, in: ICRA Workshop: Semantic Information in Robotics, 2007.
- 24 NAGAMINE, R.K. (2001). Lógica Difusa para Controle Não Convencional de uma Viga Inteligente. São Carlos, 2001. 117p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 25 SANTOS-VICTOR, José; VASSALLO, Raquel; SCHNEEBELI, Hans. Topological Maps for Visual Navigation. In: **ICVS '99**: Proceedings of the First International Conference on Computer Vision Systems. January 1999.
- 26 SIMÕES, M. G. Controle e modelagem fuzzy/Marcelo Godoy Simões, Ian S. Shaw. São Paulo: Blucher: FAPESP,2007.
- 27 SUH, Il. H.; LIM, G. H.; HWANG, W.; Suh, H.; Choi, J.H. Young-Tack Park: Ontology-based multi-layered robot knowledge framework (OMRKF) for robot intelligence. IROS 2007: 429-436.
- 28 TANSCHKEIT, Ricardo. Sistemas Fuzzy. v.1. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~mauro/ine5377/leituras/ICA-Sistemas%20Fuzzy.pdf>> Acesso em 13 nov. 2009.

- 29 VASUDEVAN, S.; SIEGWART, R.; GÄCHTER, S.; NGUYEN, V. Cognitive maps for mobile robots-an object based approach, in: *Robotics and Autonomous System Volume 55* , Issue 5 (May 2007) Pages 359-371 Year of Publication: 2007 ISSN:0921-8890.
- 30 YAGUINUMA, C. A.; SANTOS, M. T. P.; BIAJIZ, M. Meta-ontologia Difusa para Representação de Informações Imprecisas em Ontologias. In: *II Workshop on Ontologies and Metamodeling in Software and Data Engineering (WOMSDE)*, 2007, João Pessoa (PB). p. 57-67.
- 31 ZADEH, L.A. "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility". *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 1: 3-28, 1976.
- 32 ZADEH, L.A. "A Fuzzy Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts". *Int. Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 8:249-291, 1976.
- 33 ZENDER H.; JENSFELT, P.; MARTINEZ-MOZOS, O.; KRUIJFF, G.-J.; BURGARD, W. An integrated robotic system for spatial understanding and situated interaction in indoor environments, in: *AAAI-07, Integrated Intell. Track*, 2007, pp. 1584–1589.
- 34 ZHAO G-F.; DENG J-H., SUN W.; WANG W. Study on Simulation Technique of Laser Detector, *3rd International Conference on Computational Electromagnetic and Its Applications Proceedings 2004*.
- 35 FAGUNDES M.F.; PLENTZ, P. D. M. Fuzzy Ontology for Imprecise Data Representation and Processing in Environments for Mobile Robots. *The 7<sup>th</sup> International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence 2010*.

## ANEXO A – ARTIGO

# Fuzzy Ontology for Imprecise Data Representation and Processing in Environments for Mobile Robots

Melissa F. Fagundes<sup>1</sup>, Patrícia D. M. Plentz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal de Santa Catarina(UFSC)  
{melffagundes,patricia}@inf.ufsc.br

***Abstract.** Ontologies are used as easy ways of processing and communicate semantic data. Also, they promote interoperability between computing systems, when representing data that are shared by several applications. In the Robotics, ontologies are assisting in the representation of environments and in the communication between robots and humans. On the human-robot interaction, it is essential that a robot may understand the environment, like a human would, learning common concepts presents in it, for example “room” However, there are situations where the concepts and relationships are vague and inaccurate, making them improperly represented by traditional ontologies. The intention of this work is to introduce a fuzzy ontology, which will allow the representation and the inference of imprecise data.*

## 1. Introduction

Most part of the maps that are used in tasks by mobile robots have only spatial data of the environment, rejecting data that could allow the execution of complex tasks, for example, situations of rescue. In these types of situations, it is fundamental that the robot could recognize people and objects and, also, take decision based on the given data.

The semantic maps are very useful for planning the tasks of the robot, which generally requires a correct understanding of the environment, that is to say, the perception of the world and his objects, properties and relations.

The goal of the present paper is to propose the use of the fuzzy ontology for representation and extraction of imprecise information of the environment, where are the mobile robots

This paper is organized in the following way: section 2 shows the works that are related to it; section 3 shows de details of the requisites of the experiments; and section 4 presents the contribution of this paper and future works.

## 2. Related Works

Several works have referenced the representation of metric maps of environments with semantic data. [1] proposes a layered model for the creation of conceptual representation of environments. The work in [3] introduces the concept of Hybrid Spatial Semantic Hierarchy(HSSH) which a mobile robot can describe the space using different representations, each one with its own ontology. The proposal of [1] didn't was clear on how the ambiguity is treated with the use of traditional ontologies. In [1][3] the ambiguity in the communication between human and robot weren't considered.

Unlike the works above mentioned, this paper uses the fuzzy ontology for conceptual representation of the environment, allowing an inference about uncertain data originated from the communication between man and robot. The treatment of the ambiguity between concepts is presented in the application's context.

### 3. Experiment

#### 3.1. Conditions of the simulation

The simulations were realized in the software MobileSim. This software simulates the robot ActiviMedia Pionner 3DX, which is a testing tool and implementation of several types of robots and robotic controllers. The robot Pionner 3DX is equipped with the laser SICK LMS200, which will be used for the creation of the metric map and semantic classification of the simulated environment.

Also, it was used the Application Programming Interface (API) for developing the applications of MobileRobots called ARIA (Advanced Robotics Interface for Applications). ARIA provides an interface to program a controller to be tested, in the future, in a robot Pionner 3DX real. This API offers several libraries with features like synthesis and voice recognition; audio recording, network propagation and network transmission via TCP (Transmission Control Protocol); video and image capture, among others.

Specifically, the environment was designed for partially reproduce the environment of the 5th floor of the Departamento de Informática e Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina. For the creation of the test environment it was used the software Mapper, which allows the creation and editing the maps, besides allowing adding goals and objects, forbidden points, among others.

The fuzzy ontology developed in this work for allowing the semantic representation of the environment is based on the OWL DL language, because it is recommended for World Wide Web Consortium (W3C). In this work it was used the inference module about fuzzy ontologies implemented in [2], which is based in the framework Jena.

Due the limitations of the ARIA library for the implementation of the synthesis and voice recognition for simulated applications, it was chosen create a subsystem for communicating with the simulated robot via text command integrated with the software Stanford Named Entity Recognizer for natural language processing.

#### 3.2. Experiments and preliminary results

Initially, an experiment was realized for a hypothetic situation, however, being the same possible of reconstitution in the future with a real robot.

In this case, a user initiates a dialog with a robot by text commands, sending him to the room 504, in the 5<sup>th</sup> floor of the department. The robot starts the acknowledgement of the area, building through the SLAM technique, a metric map of the environment. Through the technique presented in [4], a map is built.

As the robot navigates through the environment, “marks” are added. A graph of the relationship between the marks found by the robot is built and was considered only two types of nodes for navigation: Room and Doorway. The node of the type Room was classified in two types: Corridor and Office. In this work it was considered that all the doors found in the environment are all opened, despite the possibility of the laser data classifies them as opened or closed.

Is important to emphasize that the navigation map was obtained in supervised mode, which means the robot was first trained in the environment with the “marks” already classified. After the construction of the navigation map, it was divided in areas, for subsequent semantic classification.

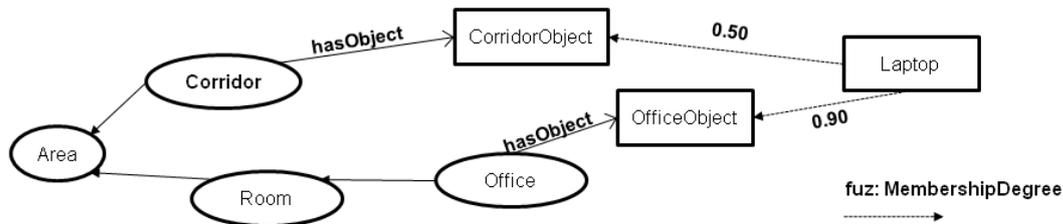
With the objective of simplifying the application, it was considered only an object present in the environment: a laptop. Therefore, for the construction of the conceptual map, the object of the type Laptop was added to the constructed fuzzy ontology.

The types Area, Corridor and Room are part of the ontology also. Thus, the instances of the object and the area has a relationship type `fuz:hasPart`, like is proposed in [2].

Due to the experimental nature of the work, the application was implemented using an algorithm for the detection of objects, like SIFT, with an algorithm for classification of places based on laser SICK for acknowledgement of objects found in the environment. When an user sends a command, like “Go to the corridor”, the robot finds the object “Laptop”, but it recognizes the object because the stored data in the metric map first. Then, it does the same in the conceptual map, in this case, the fuzzy ontology. With the use of the inference mechanism about the fuzzy ontology of the environment, the robot is capable of do the inference about the environment where it is.

The first step of the experiment starts in the room 504 of the 5th floor of the Departamento de Informática e Estatística. The application starts when the robot receives the command “Move”, and suddenly starts to move in the environment. After moving in the environment, the user asks its position and receives the answer: “Office”, through the inference mechanism about the place and the object.

In the second experiment, the robot starts in the same local and receives the command:”Move”. Then, the robot starts to move in the environment. Next, the user asks the robot about its localization and receives as answer, through the inference mechanism, but this time using the fuzzy logic, the robot says that the local is a “Room”.



**Figura 1. Fuzzy ontology representing the areas and objects in the environment**

In a second moment, the robot directs toward the corridor. When it arrives, it detects the laptop on the bench. Through the mechanism of reasoning corresponding to the definition of fuzzy logic, when asked about the local where it is, the robot returns the answer: “Corridor”.

## 5. Conclusion and future works

This paper aims to treat the problem of the ambiguity on robotic environments, for a robot that uses metric maps, navigation maps and semantic maps. The implementation of a real application of software and methodologies is expected.

The most important contribution is about the use of fuzzy ontology in the context of the semantic mapping, because it was efficient in the treatment of the ambiguity in a simple environment for a robot.

## 7. References

- [1] Mozos, O., Jensfelt, P.; Zender, Kruijff H. M. and W. Burgard, “From labels to semantics: An integrated system for conceptual spatial representations of indoor environments for mobile robots”, in: ICRA Workshop: Semantic Information in Robotics, 2007.
- [2] Yaguinuma, C. A .; Santos, M. T. P. and Biajiz M., “Meta-ontologia Difusa para Representação de Informações Imprecisas em Ontologias.” In: II Workshop on Ontologies and Metamodeling in Software and Data Engineering (WOMSDE), 2007, João Pessoa (PB). p. 57-67.

- [3] Beeson P. and MacMahon M., "Creating and Utilizing Symbolic Representations of Spatial Knowledge using Mobile Robots" - Ph.D. Thesis, The University of Texas at Austin, 2008.
- [4] Latombe J.C. e, "Robot Motion Planning." Boston, MA: Academic Publishers, 1991.