

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**ESPAÇOS CONCEITUAIS:
UMA PROPOSTA DE USO
DE REPRESENTAÇÕES
CONCEITUAIS APLICADA
A SISTEMAS
MULTIAGENTES**

JOÃO MÁRIO LOPES BREZOLIN

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Doutor em Ciência
da Computação na Pontifícia Universidade
Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Heitor Bordini
Co-Orientador: Prof. Dra. Marcia de Borba Campos

Porto Alegre
2017

Ficha Catalográfica

B848e Brezolin, João Mário Lopes

Espaços Conceituais : Uma proposta de uso de representações conceituais aplicada a Sistemas Multiagentes / João Mário Lopes Brezolin . – 2017.

103 f.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Heitor Bordini.

Co-orientadora: Profa. Dra. Marcia de Borba Campos.

1. Arquitetura BDI. 2. Espaços conceituais. 3. CSML. 4. Jason. I. Bordini, Rafael Heitor. II. Campos, Marcia de Borba. III. Título.

João Mário Lopes Brezolin

ESPAÇOS CONCEITUAIS: UMA PROPOSTA DE USO DE REPRESENTAÇÕES CONCEITUAIS APLICADA A SISTEMAS MULTIAGENTES

Tese/Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor/Mestre em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Faculdade de Informática da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em 15 de março de 2017.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Renata Vieira (PPGCC/PUCRS)

Prof. Dr. Antônio Carlos da Rocha Costa (FURG)

Profa. Dra. Diana Francisca Adamatti (FURG)

Prof. Dr. Rafael Heitor Bordini (PPGCC/PUCRS - Orientador)

Profa. Dra. Márcia de Borba Campos (PPGCC/PUCRS - Coorientadora)

DEDICATÓRIA

Para Helena e Gabriela.

“Descobrir consiste em olhar para o que todos
estão vendo e pensar em algo diferente.”

(Roger Von Oech)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Rafael Heitor Bordini e à Professora Dra. Marcia de Borba Campos pelo apoio e motivação, pelos ensinamentos e a habilidade na condução do processo de elaboração desta tese.

Ao Professor Dr. Sandro Rama Fiorini pela inestimável colaboração no processo de desenvolvimento desta proposta.

À Professora Dra. Renata Vieira pelo apoio desde os primeiros passos deste doutorado.

Ao IFSUL por motivar a qualificação docente através de seus programas de capacitação docente e à CAPES pelo apoio financeiro sem o qual o desenvolvimento desse projeto não seria possível.

À APACE pela colaboração e disponibilidade para a realização desta pesquisa.

Aos participantes da pesquisa pela colaboração e disponibilidade.

À família pela inspiração e o apoio incondicional.

ESPAÇOS CONCEITUAIS: UMA PROPOSTA DE USO DE REPRESENTAÇÕES CONCEITUAIS APLICADA A SISTEMAS MULTIAGENTES

RESUMO

A arquitetura BDI é a estratégia preferencial no que tange ao desenvolvimento de agentes situados em ambientes complexos e dinâmicos. Alicerçada no modelo simbólico, a arquitetura BDI representa um modelo consolidado que conta com um substancial aporte prático-teórico. Entretanto, conforme assinala Gärdenfors, apesar da robustez desse modelo, há aspectos do fenômeno cognitivo que suscitam a necessidade de um modelo conceitual que estabelece-se entre os níveis simbólico e perceptual. Partindo do princípio de que o reconhecimento de objetos pode ser assinalado como um processo de formação de conceitos, esta tese abrange a concepção e a implementação de um modelo de representação do conhecimento para agentes BDI com base nos pressupostos do paradigma dos espaços conceituais. Nesse sentido, esta abordagem busca estabelecer através da plataforma Jason e da linguagem de programação CSML os mecanismos necessários para o desenvolvimento desse modelo. A partir da problemática inerente ao desenvolvimento de uma aplicação voltada ao auxílio de pessoas cegas, esta proposta busca avaliar as implicações do processo de construção do modelo de inferência conceitual para agentes BDI.

Palavras Chave: Arquitetura BDI , Espaços conceituais, CSML, Jason.

CONCEPTUAL SPACES: A PROPOSAL FOR USE OF CONCEPTUAL REPRESENTATIONS APPLIED TO MULTIAGENT SYSTEMS

ABSTRACT

The BDI architecture is the preferred approach for the development of agents situated in complex dynamic environments. The BDI architecture, which is founded on the symbolic model, represents a consolidated model that counts upon substantial theoretical-practical contributions. However, according to Gärdenfors, despite its strengths, there are some aspects of the cognitive phenomena which give rise to the need of a conceptual model that has to establish itself between the perceptual and the symbolic levels. Taking into account the principle that recognition of objects can be set as a process of concept formation, this thesis comprises the design and implementation of a knowledge representation model for BDI agents based on the assumptions of the paradigm of conceptual spaces. In this sense, the actual approach seeks to establish the necessary mechanisms for the development of this model through the use of the Jason platform and the programming language CSML. From the issues which are inherent to the development of an application directed to the aid of visually impaired people, this thesis aims to evaluate the implications of the building processes of the conceptual inference model for BDI agents.

Keywords: BDI architecture, Conceptual spaces, CSML, Jason.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Semântica Cognitiva	30
Figura 2.2 – Diagrama de Voronoi	32
Figura 2.3 – Interface entre o espaço conceitual e simbólico	35
Figura 2.4 – Triangulação de Delaunay	36
Figura 2.5 – Aproximação dos pontos de convergência	37
Figura 4.1 – Processo de classificação de objetos	54
Figura 4.2 – Arquitetura de integração do espaço conceitual	55
Figura 4.3 – Modelo RGB	56
Figura 4.4 – Especificação da base de conceitos	57
Figura 4.5 – Algoritmo de classificação de objetos	58
Figura 4.6 – Processo de classificação de objetos	59
Figura 4.7 – Posicionamento de objetos	59
Figura 4.8 – Algoritmo de classificação de ambientes	60
Figura 4.9 – Processando mensagens do espaço conceitual	62
Figura 4.10 – Verificação da validade do conceito	62
Figura 4.11 – Verificação do ambiente	63
Figura 4.12 – Envio de mensagens para o dispositivo móvel	63
Figura 5.1 – Uso do sistema pelo usuário	65
Figura 5.2 – Ciclo do sistema	66
Figura 5.3 – Configuração dos nodos ROS Android	67
Figura 5.4 – Leitura das mensagens para o usuário	67
Figura 5.5 – ROS: <i>publishers</i> e <i>subscribers</i>	68
Figura 5.6 – OpenCV: Extração de características	69
Figura 5.7 – SURF: Detecção de frames inválidos	70
Figura 5.8 – Definição domínios, conceitos e instâncias	72
Figura 6.1 – Exemplos de objetos cadastrados	75
Figura 6.2 – Seleção de conceito candidato	76
Figura 6.3 – Comparação de Histogramas	77
Figura 6.4 – Gabinete FACIN	78
Figura 6.5 – Mapa tátil do usuário cego	79
Figura 6.6 – Sala de reuniões APACE	81
Figura 6.7 – Imagens inválidas capturadas no ambiente	82

Figura 6.8 – Captura de objetos no ambiente	83
Figura 6.9 – Classificação de ambientes através do cálculo de distância	85
Figura 6.10 – Recuperação de informações do espaço conceitual	86
Figura 6.11 – Exemplo de aplicação	86

LISTA DE SIGLAS

APACE – Associação Passofundense de Cegos

BDI – *Belief Desire Intentions*

CSML – *Conceptual Space Markup Language*

CARTAGO – *Common ARTifact infrastructure for AGents Open environments*

FACIN – Faculdade de Informática

GNU LGPL – *GNU Lesser General Public License*

GPS – *Global Positioning System*

LBP – *Local Binary Patterns*

MCI – Modelos Cognitivos Idealizados

MMC – Modelos de Mistura Gaussianos

OPENCV – *Open Computer Vision Library*

RAM – *Random Access Memory*

RFID – *Radio-Frequency IDentification*

ROI – *Region Of Interest*

RGB – *Read Green Blue Model*

SURF – *Speeded Up Robust Features*

HSV – *Hue Saturation Value Model*

XML – *eXtensible Markup Language*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	MOTIVAÇÃO	24
1.2	OBJETIVOS	25
1.3	ESTRUTURA DA TESE	26
2	ESPAÇOS CONCEITUAIS E AGENTES INTELIGENTES	27
2.1	PRINCÍPIOS DA ARQUITETURA BDI	27
2.2	FUNDAMENTOS DA SEMÂNTICA COGNITIVA	29
2.3	ESPAÇOS CONCEITUAIS	31
2.3.1	INTERFACE ENTRE OS NÍVEIS SIMBÓLICO E CONCEITUAL	34
2.3.2	MEETING OF MINDS	35
2.4	APLICABILIDADE DOS ESPAÇOS CONCEITUAIS	38
2.5	UM MODELO ALGÉBRICO PARA OS ESPAÇOS CONCEITUAIS	39
2.6	ORIENTAÇÃO E MOBILIDADE PARA PESSOAS CEGAS	42
2.6.1	MODELOS MENTAIS E FORMAÇÃO DE CONCEITOS	43
2.6.2	ORIENTAÇÃO E MOBILIDADE	45
2.6.3	MAPA COGNITIVO	46
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
3	PROBLEMA DE PESQUISA	49
4	INTEGRAÇÃO DO ESPAÇO CONCEITUAL AO NÍVEL SIMBÓLICO DO AGENTE JASON	53
4.1	O PROCESSO DE EXTRAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE INFORMAÇÕES	53
4.2	DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO ESPAÇO CONCEITUAL	55
4.3	ESPAÇO CONCEITUAL E OS PROCESSOS DE CLASSIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS	57
4.4	NÍVEL SIMBÓLICO DO AGENTE JASON	61
4.5	CONCLUSÃO	64
5	TECNOLOGIAS UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	65
5.1	OPERAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA	65
5.2	CONEXÃO ENTRE OS MÓDULOS DO SISTEMA	66

5.3	NÍVEL SUBCONCEITUAL DO SISTEMA	68
5.3.1	SURF - SPEEDED UP ROBUST FEATURES	70
5.4	NÍVEL CONCEITUAL DO SISTEMA	71
5.5	NÍVEL SIMBÓLICO DO SISTEMA	72
5.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
6	AVALIAÇÃO DO SISTEMA E COMPARATIVO COM OUTRAS ABOR- DAGENS	75
6.1	EXPERIMENTOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA: MATERIAIS E MÉTODOS	75
6.1.1	PRIMEIRO EXPERIMENTO: FACIN	78
6.1.2	SEGUNDO EXPERIMENTO: APACE	80
6.1.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE ESPAÇOS CONCEITUAIS E HISTO-	
	GRAMAS	81
6.2	ESPAÇOS CONCEITUAIS E OUTRAS ABORDAGENS NÃO-SIMBÓLICAS ..	83
6.3	CONCLUSÃO	86
7	CONCLUSÃO	89
	REFERÊNCIAS	93
8	ANEXO 01	101
9	ANEXO 02	103

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura BDI (*Beliefs, Desires, Intentions*) é a estratégia preferencial no que tange ao desenvolvimento de sistemas de agentes situados em ambientes complexos e dinâmicos [Woo02]. Alicerçada no modelo simbólico, a arquitetura BDI representa um modelo consolidado que conta com um substancial aporte prático-teórico. Conforme Gärdenfors [Gär00], apesar da robustez desse modelo, há aspectos do fenômeno cognitivo que suscitam a necessidade de um modelo conceitual que estabeleça um elo entre os níveis simbólico e perceptual. A representação de objetos é um exemplo de fenômeno que se enquadra nesse aspecto, uma vez que ela é resultante de um conjunto de percepções captadas pelo aparato cognitivo do agente. Visando qualificar o processo dedutivo realizado pelo agente, o presente estudo propõe implementação de um nível conceitual baseado em espaços conceituais visando organizar as percepções do agente e estabelecer uma representação adequada para objetos do mundo real. Nesse sentido, propõe-se incorporar esse nível de representação a arquitetura do agente BDI permitindo estabelecer um recurso para auxiliar no processo de identificação e classificação de objetos.

Para validar essa proposta, realizou-se desenvolvimento de um protótipo que auxiliasse na mobilidade de deficientes visuais. O protótipo foi desenvolvido com os recursos disponibilizados pelas plataformas Jason e ROS (*Robot Operational System*). O Jason foi utilizado para realizar a implementação do agente BDI responsável por realizar a reconhecimento e classificação de objetos. Para realizar esse processo incorporou-se ao processo dedutivo do agente um espaço conceitual de objetos desenvolvido através da linguagem de marcação CSML (*Conceptual Space Markup Language*). Os recursos da plataforma Jason e da API CSML permitiram concretizar a integração do espaço conceitual a arquitetura do agente BDI permitindo estabelecer um classificador para os objetos percebidos no ambiente. Para facilitar o uso do protótipo pelo usuário e manter a robustez do classificador optou-se por dividir o sistema em dois módulos. O primeiro módulo, instalado em um *smartphone*, é responsável por capturar as imagens que serão processadas pelo sistema. O segundo módulo, instalado em um servidor ROS, recebe as informações capturadas pelo dispositivo móvel e realiza o processo de classificação de objetos. O ROS foi a plataforma escolhida para gerenciar a troca de informações realizada pelos módulos do sistema.

Serão detalhadas nesta tese: integração do espaço conceitual a arquitetura do agente BDI, as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do protótipo e avaliação do mesmo junto ao usuário final. No escopo desta tese, o espaço conceitual para representar objetos foi utilizado por um único agente BDI especificado na plataforma Jason. Cabe ressaltar, entretanto, que a arquitetura proposta pode ser naturalmente expandida para um contexto no qual múltiplos agentes podem fazer uso do espaço conceitual de objetos. Observa-se que o uso de representações conceituais estabelece um importante o potencial para qualificar o processo de comunicação entre agentes. Além de permitir estabelecer a fundamentação das crenças do agente, os espaços conceituais podem vir a se constituir como um importante recurso para troca de informações

entre agentes. Nesse sentido, ratifica-se que esta tese busca estabelecer uma contribuição para o desenvolvimento de sistemas multiagentes propondo um mecanismo para representação e classificação de objetos que pode ser incorporado a arquitetura do agente BDI. Dessa forma, além de propor esse mecanismo buscou-se nessa tese estabelecer as bases para que as potencialidades dos espaços conceituais possam ser futuramente exploradas e aplicadas no desenvolvimento de sistemas multiagentes.

1.1 Motivação

A atuação do agente está intrinsecamente ligada à forma como ele representa e processa informações percebidas. As crenças do agente compreendem como ele percebe o ambiente em que está inserido e estabelece parâmetros para que ações sejam delineadas. Tipicamente, agentes representam suas crenças através de predicados que expressam propriedades de objetos. Entretanto, a complexidade associada à representação do fenômeno cognitivo implica na necessidade de se estabelecer um recurso que permita realizar a interface entre os níveis perceptual e simbólico: um modelo conceitual. A implementação desse modelo pode ser balizada pela perspectiva da semântica realista que considera que o significado de conceitos é herdado de fenômenos observados no mundo real; ou, em contraste, pela semântica cognitiva que afere que conceitos são resultantes de um processo de construção originado da iteração dos conhecimentos prévios do sujeito com percepções recebidas do ambiente. Alinhado à segunda perspectiva, Gärdenfors [Gär00] destaca que o nível conceitual pode ser representado por um espaço geométrico no qual os conceitos podem ser constituídos por pontos ou vetores de pontos, e as relações de similaridade podem ser estabelecidas pelo uso de funções de distância.

Segundo Gardenförs [Gär00], os objetos representam um tipo especial de conceitos, e seu processo de identificação está atrelado à ideia de similaridade. A trajetória de um objeto tende a ser contínua, e sua localização, única no espaço. Nesse sentido, o processo de reconhecimento de objetos pode ser associado à ideia de uma função de localização (*location function*) [Sta79] que permitiria categorizar objetos a partir da avaliação das propriedades nele identificadas. Em termos de espaços conceituais, a representação de objetos se encontra associada à ideia de vetores parciais que indexam propriedades que puderam ser observadas neles e propriedades que poderão ser descobertas futuramente. Os espaços conceituais buscam ressaltar o aspecto cognitivo do processo de construção do conhecimento, permitindo a categorização de percepções em domínios compostos por dimensões de qualidade. Esses domínios representam são constituídos por estruturas geométricas e podem ser particionadas em regiões. Nessas regiões objetos são assinalados como pontos e sua localização é determinada por funções de distância que determinam seu posicionamento em relação aos elementos prototípicos de cada região. As funções de distância se estabelecem como um mecanismo objetivo para a determinação de similaridades entre os conceitos e as observações.

Nesta tese, buscou-se avaliar o uso representações conceituais baseadas nessa teoria para auxiliar na representação e na categorização de objetos do mundo real e as contribuições de incorporar esse mecanismo ao processo de raciocínio de um agente BDI.

1.2 Objetivos

Para que o agente BDI possa reconhecer os objetos existentes em um determinado ambiente, faz-se necessária uma estrutura capaz de armazenar e organizar o as percepções recebidas pelo aparato cognitivo do agente. Nesse sentido, o objetivo geral desta é estabelecer um mecanismo para representar e classificar objetos baseado teoria dos espaços conceituais e propor a sua integração ao processo de raciocínio de um agente BDI. A partir dessa premissa delinear-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar a revisão bibliográfica acerca dos princípios da arquitetura BDI e da teoria dos espaços conceituais.
- Avaliar as contribuições do uso de representações baseada na teoria dos espaços para fundamentar as crenças de agentes BDI.
- Analisar a abordagem dos espaços conceituais no que tange a classificação de objetos.
- Estabelecer a incorporação do nível de representação a arquitetura de um agente BDI.
- Projetar um protótipo voltado ao auxílio a mobilidade de deficientes visuais que utiliza a abordagem dos espaços conceituais para realizar a classificação de objetos.
- Analisar a problemática acerca do processo de orientação e mobilidade de pessoas cegas.
- Elencar as tecnologias necessárias para realizar o desenvolvimento do protótipo.
- Adequar o protótipo para uso de pessoas cegas.
- Realizar a validação do protótipo junto aos usuários finais.
- Estabelecer um comparativo da abordagem dos espaços conceituais com outras abordagens não-simbólicas.
- Avaliar as potencialidades da abordagem dos espaços conceituais e suas contribuições para o desenvolvimento de sistemas multiagentes.

1.3 Estrutura da tese

A presente tese está estruturada como segue: o capítulo 2 apresenta uma revisão acerca dos pressupostos da arquitetura BDI, introduz a teoria dos espaços conceituais e versa sobre o processo de orientação e mobilidade para pessoas cegas. O capítulo 3 retoma a problemática acerca da representação de objetos e ratifica a proposta de utilizar a teoria dos espaços conceituais como base para estabelecer um nível conceitual para representar e classificar objetos. O capítulo 4 apresenta a definição do espaço conceitual de objetos e sua integração com nível simbólico do agente Jason. O capítulo 5 descreve as tecnologias utilizadas no desenvolvimento do sistema proposto. O capítulo 6 apresenta a validação do sistema e um comparativo entre espaços conceituais e outras abordagens não-simbólicas. O capítulo 7, por fim, apresenta as conclusões pertinentes ao estudo realizado.

2. ESPAÇOS CONCEITUAIS E AGENTES INTELIGENTES

A arquitetura BDI representa um importante referencial para o paradigma de programação orientada a agentes. Este capítulo retoma alguns dos princípios norteadores desse paradigma e busca estabelecer a ligação com os pressupostos da semântica cognitiva que motivaram Gärdenfors a desenvolver a teoria dos espaços conceituais. Fundado na semântica cognitiva, o paradigma dos espaços conceituais propõe um modelo de estruturação do espaço geométrico capaz de representar conceitos e relações de similaridade. Esse paradigma se estabelece entre as representações perceptuais e simbólicas e permite estruturar mecanismos para realizar a interface entre os dois níveis. Pela perspectiva simbólica, os espaços conceituais contribuem para estabelecer o mapeamento entre as crenças do agente e as informações recebidas por seu aparato cognitivo. Já pelo viés perceptual, os espaços conceituais auxiliam no estabelecimento de uma semântica que permite tornar mais intuitiva a interpretação dos dados recebidos pelos sensores do agente.

As seções seguintes discorrem sobre os fundamentos da arquitetura BDI e suas contribuições para o desenvolvimento do paradigma de programação orientada a agentes, além de apresentar o *framework* Jason. Também são discutidos as motivações e os princípios que alicerçam a Teoria dos espaços conceituais, exemplos de aplicações baseados no paradigma e a álgebra proposta por Adams e Raubal [AR09b], que fundamenta a CSML API, utilizada na implementação do sistema proposto.

Visando estabelecer a fundamentação para o desenvolvimento do sistema proposto, este capítulo também revisa os apontamentos realizados por autores no que tange ao processo de formação de conceitos que resultam na construção de mapas cognitivos e seu papel no auxílio ao deslocamento de pessoas cegas.

2.1 Princípios da arquitetura BDI

Agentes racionais são definidos como entidades ativas, capazes de analisar e atuar sobre o ambiente em que se encontram inseridas. As ações imprimidas pelo agente são resultantes do processo de raciocínio orientado pelos objetivos com os quais ele se encontra comprometido. Para tanto, o agente conta com uma biblioteca de planos possíveis que podem se tornar aplicáveis à medida que determinado estado do ambiente é detectado. Wooldridge [Woo02] elenca reatividade, autonomia, pró-atividade e habilidade social como propriedades desejáveis em agentes inteligentes. A reatividade assinala agentes suscetíveis às alterações do ambiente e capazes de readequar seus planos em um espaço de tempo adequado. A autonomia e a pró-atividade remetem ao fato de agentes que se tornam progressivamente mais independentes e capazes de selecionar as ações mais adequadas para atingir seus objetivos. A habilidade social,

por fim, refere-se à capacidade do agente de estabelecer processos de interação e colaboração com seus pares.

De acordo com Wooldridge, a arquitetura BDI (*Beliefs, Desires, Intentions*) é uma das principais estratégias para a implementação de agentes inteligentes [Woo02]. Seu desenvolvimento foi motivado pelo intuito de estabelecer um modelo com referência no comportamento humano. Sua origem remonta ao trabalho desenvolvido por Bratman [Bra99, BIP88] sobre a teoria do raciocínio prático (*Theory of Human Practical Reasoning*). Segundo essa teoria, o processo de raciocínio prático é composto por duas etapas: a seleção dos estados que se busca atingir e a seleção de planos necessários para que eles sejam alcançados. A primeira etapa, conhecida como deliberação, está fundada nas crenças que o agente tem sobre o ambiente. A segunda descreve um processo conhecido como raciocínio orientado por objetivos (*means-ends reasoning*) no qual se determina uma sequência de ações que são necessárias para que determinado objetivo possa ser atingido. Segundo Bratman [Bra90, p. 17]: “Raciocínio prático é uma questão de ponderar sobre considerações conflitantes a favor e contra, onde as considerações relevantes são balizadas pelo que o agente deseja e pelo que o agente acredita”.

Esses princípios permitiram a Bratman estabelecer os conceitos de crenças, desejos e intenções. As crenças representam o que o agente percebe do ambiente e o capacitam a inferir sobre um conjunto de estados possíveis. As crenças do agente refletem seu entendimento sobre o mundo, o que ele acredita ser verdadeiro em dado instante de tempo. Os desejos representam um conjunto de estados pretendidos pelo agente e sobre os quais ele deve deliberar para decidir quais buscará alcançar. As intenções representam o conjunto de estados do ambiente a que o agente está comprometido e procurará atingir. Segundo o autor, o agente pode comprometer-se com várias intenções que, ao contrário do que pode ocorrer com os desejos, não são conflitantes entre si. Para obter os estados pretendidos, o agente buscará estabelecer planos de ação que, conforme Bratman, tendem a ser parciais e hierárquicos. Essas características remetem ao fato de que, em geral, o agente sabe apenas parcialmente o que deve ser feito para atingir seus objetivos e que, durante esse processo, um conjunto de subplanos e intenções também pode ser elencado.

A arquitetura BDI estabeleceu as bases para o desenvolvimento da linguagem AgentSpeak(L). Rao [Rao96] buscou convergir as qualidades do sistema PRS (*Procedural Reasoning System*) e a arquitetura BDI a fim de estabelecer uma linguagem de programação intuitiva e robusta para o desenvolvimento de Sistemas Multiagentes (SMAs) [BHW07]. Nessa linguagem, um agente é definido a partir da especificação de sua base de crenças e base de planos. O estado corrente do agente representa seu estado de crenças, os estados possíveis identificados a partir de percepções assinalam seus desejos, e a adoção de estratégias ou planos estabelece suas intenções. Crenças são representadas por predicados de primeira ordem e são denominadas literais de crença. Planos se referem ao conjunto de ações que o agente pode executar no ambiente e são representados por predicados de primeira ordem, porém são associados a símbolos especiais conhecidos como símbolos de ação.

Um plano em AgentSpeak(L) é definido por: $+!g : \varphi \leftarrow p_1; \dots; p_n$, onde $+!g$ assinala o evento ativador do objetivo $!g$; φ indica o contexto que torna o plano aplicável e cada p_i pode indicar: uma operação de adição ou exclusão de crenças/planos; uma ação; um subobjetivo; um objetivo de teste. O evento ativador (*triggering event*) representa uma consequência lógica do conjunto de crenças do agente no momento em que determinado contexto se torna aplicável. Após a especificação do contexto, no restante do plano encontram-se as ações e/ou subplanos que o agente deve atingir para estabelecer a execução do plano. Eventos ativadores também podem estar relacionados à adição e à remoção de atitudes mentais (crenças ou objetivos). Dois tipos de objetivos podem ser especificados em AgentSpeak(L): objetivos de realização (*achievement goals*) e objetivos de teste (*test goals*) que são especificados através dos operadores $'!$ e $'?$ respectivamente. Os objetivos de realização assinalam que o agente deseja atingir determinado estado do ambiente e inicializam a execução de planos para que esse fim seja alcançado. Já os objetivos de teste unificam o resultado de uma consulta realizada na base de crenças do agente [BV03].

2.2 Fundamentos da semântica cognitiva

A implementação de um modelo conceitual de representação do conhecimento tange sobre alinhar-se a uma perspectiva filosófica que descreve como ocorre o processo de construção do conhecimento, a perspectiva da semântica realista que considera que o significado de conceitos é herdado de observação de fenômenos do mundo real. Fundada na teoria aristotélica, essa perspectiva assinala um processo no qual os conhecimentos são adquiridos a *posteriori*, ou seja, os significados que descrevem fenômenos e objetos estão no mundo e são adquiridos unicamente através da experiência [Dur54, Mum52]. Nesse sentido, assinala-se que existe um mapeamento direto entre a linguagem e o mundo. Essa perspectiva não considera, por exemplo, que os sujeitos possam ter concepções diferentes de conceitos. Do ponto de vista da semântica cognitiva, o significado é construído a partir da interação de informações contidas na estrutura cognitiva do sujeito com o mundo. A linguagem, nesse contexto, institui-se como mecanismo mediador desse processo [Gär00]. O significado não é herdado através de percepções do mundo externo, pelo contrário, ele é resultante de uma construção estabelecida pela interação das estruturas internas do sujeito e das percepções recebidas do ambiente. A linguagem é vista como parte da estrutura cognitiva do sujeito, como recurso capaz de promover o desenvolvimento de suas estruturas mentais, permitindo a elaboração de mecanismos para compreender objetos e fenômenos percebidos no ambiente (Figura 2.1).

Gärdenfors, visando estabelecer um paradigma capaz de representar complexidade do fenômeno cognitivo, buscou alinhar-se aos pressupostos da semântica cognitiva e estabelecer os seguintes princípios para um modelo conceitual de representação do conhecimento:

Princípio 2.2.1. O significado é uma estrutura conceitual do sistema cognitivo. Com esse princípio, Gärdenfors ratifica a posição de Harnad [Har99] ao assinalar que o significado das

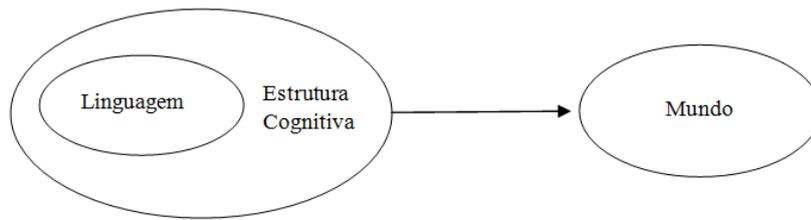


Figura 2.1 – Semântica Cognitiva
Fonte: [Gär00]

expressões simbólicas deve estar fundado no aparato perceptual do sujeito, e não a manipulação do símbolo em si. Esse princípio remete à ideia de que o significado é constituído a partir de um processo de interação da estrutura cognitiva do sujeito com o mundo e que a linguagem representa o mapeamento das expressões linguísticas e as entidades cognitivas.

Princípio 2.2.2. As estruturas conceituais são incorporadas. Dessa forma, os significados devem estar ao menos parcialmente embasados no sistema cognitivo do sujeito. Sendo assim, as representações mentais devem acomodar as informações recebidas pelo aparato perceptual do sujeito, sejam essas originárias individualmente pelos sentidos ou resultantes de sinestesia.

Princípio 2.2.3. Os elementos semânticos são constituídos de estruturas geométricas ou topológicas. Esse é um aspecto central da teoria dos espaços conceituais. Busca-se, através desse princípio, instaurar uma estrutura dinâmica para as representações conceituais fundada em representações geométricas que permitem estabelecer medidas de similaridades.

Princípio 2.2.4. Os modelos cognitivos são representados por esquemas imagéticos e são transformados por metáforas e metonímias. Esse princípio assinala que esquemas imagéticos constituem a forma como as percepções são armazenadas. Estruturas espaciais e temporais são inerentes a esses esquemas e permitem a identificação de objetos, assim como o estabelecimento de sua trajetória em relação à decorrência do tempo.

Princípio 2.2.5. A semântica é fundamental para a sintaxe e, em parte, a determina. Em contraste com a tradição chomskiana, que assinala a gramática como um cálculo formal que pode ser formulado independentemente do significado, a ciência cognitiva assinala que a sintaxe não pode ser descrita independentemente de seu significado semântico. Este já existe antes das estruturas sintáticas serem completamente desenvolvidas.

Princípio 2.2.6. Conceitos apresentam efeitos prototípicos. Um conceito é geralmente representado por um esquema imagético que pode apresentar variações, sendo que dentre elas é possível encontrar elementos que são mais representativos para determinadas classes. A definição de protótipos altera a definição de conceito de um conjunto de condições necessárias e suficientes para um conjunto de condições mais representativas.

Os seis princípios assinalados pelo autor estabeleceram as bases da teoria dos espaços conceituais. A partir desses pressupostos, Gärdenfors formulou a ideia de um espaço multidimensional organizado através de estruturas geométricas e capaz de acomodar e categorizar

as percepções recebidas pelo aparato sensorial do sujeito. A próxima seção detalha o modelo idealizado pelo autor.

2.3 Espaços conceituais

Os espaços conceituais representam um espaço geométrico multidimensional no qual conceitos são representados por regiões que abrangem objetos que são assinalados por pontos. Esse espaço é organizado a partir de dimensões de qualidade que correspondem ao mecanismo utilizado para acomodar percepções identificadas em objetos ou fenômenos do mundo externo pelo aparato cognitivo do sujeito. Essas dimensões podem ser classificadas como separáveis ou integrais. As dimensões separáveis referem-se a características independentes que podem ser atribuídas a objetos sem depender de qualquer outra; já as dimensões integrais se referem a características interdependentes. As dimensões de qualidade são organizadas em domínios que representam dimensões ou conjuntos de dimensões integrais que são separáveis das demais dimensões. Peso e tempo são exemplos de domínios compostos por uma única dimensão. Cor, por outro lado, é um exemplo de domínio composto pelas dimensões interdependentes de tonalidade, cromaticidade e brilho. Logo, os espaços conceituais podem ser definidos como um conjunto de dimensões de qualidade agrupados em domínios integrais. Domínios são organizados por estruturas geométricas ou topológicas que possuem uma métrica que estabelece em que pontos dessas estrutura os objetos serão alocados [Gär00]. Por exemplo, ao perceber um objeto de cor azul, o sujeito estará fazendo inferência a um determinado ponto do domínio de cor que intersecta as dimensões de tonalidade, cromaticidade e brilho e contém a representação mais próxima da cor observada.

Domínios e dimensões são os pilares para o desenvolvimento das noções de propriedade e conceito. Propriedades se referem a conceitos formados por um único domínio e são definidas de acordo com o seguinte critério:

Definição 2.3.1. Critério P: Uma propriedade natural se refere a uma região convexa em um domínio no espaço conceitual.

Propriedades naturais se referem aos elementos básicos do processo de raciocínio. A cor, assinalada no exemplo anterior, refere-se a uma das propriedades que podem ser identificadas em objetos. O posicionamento de pontos no espaço, balizados pela estrutura geométrica e pela métrica, tende a aproximar elementos que apresentam características correlatas, proporcionando a decomposição do espaço em regiões e imprimindo a elas as características de conectividade e convexidade. As cores azul e vermelho, por exemplo, tendem a formar regiões convexas disjuntas. Os elementos mais prototípicos dessas regiões tendem a estar mais próximos do centro, assim como os elementos menos representativos tendem a ficar mais distantes, próximos da interseção dessas regiões com as demais regiões do domínio cor. Nesse sentido, a organização das regiões nos espaços conceituais remete aos Diagramas de Voronoi (*Voronoi*

Tessellation), que descrevem a decomposição do espaço em regiões, balizadas pela existência de uma célula que intersecta um conjunto de semiplanos e estabelece o ponto (ou sub-região) que contém o elemento mais representativo delas. A Figura 2.2 apresenta um exemplo desse processo, no qual cada elemento p_i representa elemento prototípico que baliza a decomposição do espaço.

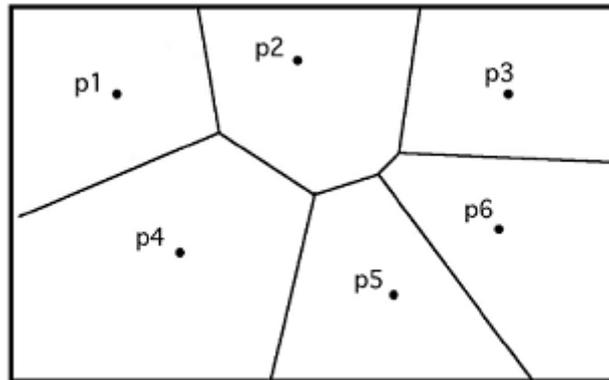


Figura 2.2 – Diagrama de Voronoi
Fonte: [Gär00]

Segundo Gärdenfors [Gär00], ao assinalar a ideia de elementos prototípicos em cada região, é possível também intuir a existência de medidas de similaridade que permitem classificar indivíduos com base nas características observadas nesses elementos. Busca-se, dessa forma, estabelecer a relação com a teoria dos protótipos (*Prototype Theory*) ao inferir sobre a existência de membros mais representativos em determinadas categorias [Ros99] e sobre a ideia de *clustering* no que tange à organização dos elementos em relação ao centroide do agrupamento [Ric06].

Conceitos complexos também podem ser representados através dos espaços conceituais. Eles correspondem à indexação de pontos em diversas regiões do espaço conceitual e são definidos de acordo com o seguinte critério:

Definição 2.3.2. Critério C: Um conceito natural é representado por conjuntos de regiões de determinados domínios com pesos que indicam a saliência de domínios e informações sobre o correlacionamento dessas regiões.

Logo, conceitos complexos correspondem a uma associação de propriedades assinaladas por diferentes domínios. Por exemplo, o conceito de maçã é composto por pontos nas dimensões de cor, forma, aparência, entre outros. A ideia de se associar pesos que indicam a saliência de domínios permite ratificar a ideia de contexto, ou seja, que determinadas características de dado objeto deverão ter maior importância em um determinado estado do ambiente. Por exemplo a dimensão cor não é determinante para identificar um objeto como maçã, pois há maçãs de várias tonalidades. Entretanto, essa característica é determinante para verificar se a maçã é própria para o consumo ou não. A relação entre as propriedades também é importante, uma vez que podem alterar o significado de um conceito. Gärdenfors atribui esse fenômeno

à existência de classes contrastantes, ou seja, propriedades que podem se sobrepor a outras e modificar significativamente o conceito. Nesse sentido, “pequinhês” é um conceito associado a uma raça de cães pequenos. Um “pequinhês grande” refere-se a um conjunto de cães de pequeno porte que se encontram na borda de interseção desse conjunto em relação à propriedade de tamanho. Ou seja, ao inferir sobre esse conceito, o sujeito não buscará somente a região prototípica do conceito pequinhês, mas a região que procura descrever corretamente a expressão conceitual.

Segundo Gardenfors [Gär00] pontos no espaço geométrico estabelecem entre si uma relação de intermediação (*betweenness*). Ou seja, se os pontos a e c são identificados como pontos de uma mesma região, todos os pontos que se encontram entre eles também pertencem ao mesmo domínio. Se a e c são pontos que representam o conceito de mamífero e b se encontra entre eles, consequentemente b também pertence à mesma categoria. Se a e c são considerados graus normais de pressão sanguínea e b se encontram entre eles, logo b é considerado um grau normal de pressão. Entretanto, se d é considerado um grau de pressão alta e c se encontra entre b e d , é possível inferir que c se encontra em um ponto limítrofe das regiões que representam pressão normal e alta. Aisbett e Gibbon [AG01] ressaltam a importância do estabelecimento da relação de intermediação, assinalando que as relações de similaridade podem induzir o espaço de métricas de conceitos e a organização topológica do espaço conceitual. No espaço euclidiano, a relação de intermediação é definida intuitivamente em termos de métricas de distância, ou seja, $B(a, b, c) \Leftrightarrow d(a, c) = d(a, b) + d(b, c)$. Os autores definem a noção de intermediação da seguinte forma:

Definição 2.3.3. A relação de intermediação B para um determinado espaço S com uma métrica d é a relação lógica de B por $S \times S \times S$ de tal forma que para quaisquer $a, b, c \in S$:

- a) $B(a, b, c) \Rightarrow a \neq b, a \neq c, b \neq c$;
- b) $B(a, b, c) \Rightarrow B(c, b, a)$; $B(a, c, b) \Rightarrow \text{not } B(c, a, b)$;
- c) $B(a, b, c) \& B(b, c, d) \Rightarrow B(a, b, d)$;
- d) $B(a, b, d) \& B(b, c, d) \Rightarrow B(a, b, c)$;
- e) $\text{not } B(a, b, *) \& \text{not } B(a, *, b) \& \text{not } B(*, a, b)$ for all $a, b \in S$;
- f) $d(a, c) = d(a, b) + d(b, c) \Rightarrow B(a, b, c)$;

O primeiro axioma (a) garante a referência a elementos distintos do espaço euclidiano. O axioma (b) busca evitar o estabelecimento de relações cíclicas entre os elementos. Os axiomas (c) e (d) demonstram as relações de intermediação entre os pontos dos conjuntos assinalados. O princípio (e) assinala a impossibilidade de estabelecer relação de intermediação de pontos do espaço em relação ao ponto ideal (*)¹. O princípio (f), por fim, assinala que o estabelecimento

¹O ponto ideal também é conhecido como *point at infinity* e se refere a um ponto hipotético a partir do qual não é possível estabelecer comparações de similaridade.

da relação de intermediação é tão importante para a definição de regiões no espaço conceitual quanto o uso de métricas de distância.

A partir da definição da noção de intermediação, os autores propõem a formalização das regiões do espaço conceitual como segue:

Definição 2.3.4. (Regiões no espaço conceitual).

- a) Um espaço S é denominado r -convexo se for único ou se para o par $a = c_0, b = c_r \in A$, existem $r - 1$ elementos $c_1, c_2, \dots, c_{r-1}, \in A$ tal que $B(c_i, x, c_{i+1}) \Rightarrow x \in A$. Um espaço 1-convexo é denominado *convexo*;
- b) Se A e A' são regiões convexas então $A \cap A'$ também é;
- c) Um subconjunto A do espaço S é dito conectado se for único ou se para cada par $a, b \in A$, para $n > 0$ existe uma sequência $c_0 = a, c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_n = b \in A$ de tal forma que $B(c_i, x, c_{i+1}) \Rightarrow x \in A$;
- d) Uma região de S é um subespaço fechado e conectado de S .

A importância da definição da noção de intermediação apresentada por Aisbett e Gibbon é ratificada pelo fato de que os limites entre regiões convexas não são nítidos, e muitas vezes os elementos das bordas podem se encontrar em mais de uma região [AG01]. Entretanto, com base na noção de intermediação, é possível estabelecer critérios probabilísticos para determinar a adesão de elementos a um determinado domínio. Se dois elementos a e b possuem um determinado grau de adesão a um determinado domínio, é possível inferir que todos os objetos que estão entre eles também possuem um grau de adesão a ele [Gär00]. Essa estratégia poderia ser utilizada, por exemplo, para determinar o grau de satisfatoriedade que o conjunto de qualidades de um objeto percepção tem em relação a regiões constantes no espaço conceitual.

2.3.1 Interface entre os níveis simbólico e conceitual

Os espaços conceituais caracterizam-se por buscarem estabelecer-se como um nível intermediário entre os níveis simbólico e perceptual. Nesse sentido, Aisbett e Gibbon [AG01] apresentaram uma das primeiras propostas para estabelecer a interface entre os níveis simbólico e conceitual utilizando espaços conceituais. Neste trabalho, os autores propõem a implementação de dois espaços: o primeiro refere-se ao espaço multidimensional que abrange representações de propriedades e o segundo refere-se a um espaço próprio de símbolos. Este espaço é responsável por receber as informações do ambiente e armazená-las em uma estrutura temporária para posteriormente realizar o mapeamento desses símbolos para o espaço conceitual. Esse processo é denominado pelos autores de transição Tipo 1 (*Type 1 transition*). No espaço conceitual, as informações recebidas do espaço de símbolos são comparadas com registros de uma estrutura temporária que armazena os cabeçalhos das regiões presentes no espaço conceitual. Uma vez

determinada a representação conceitual que converge adequadamente todas as informações recebidas do espaço simbólico ela é recuperada e encaminhada para o espaço de símbolos. Esta transição é assinalada como Tipo2 (*Type 2 transition*). A Figura 2.3 descreve o esquema do sistema proposto pelos autores.

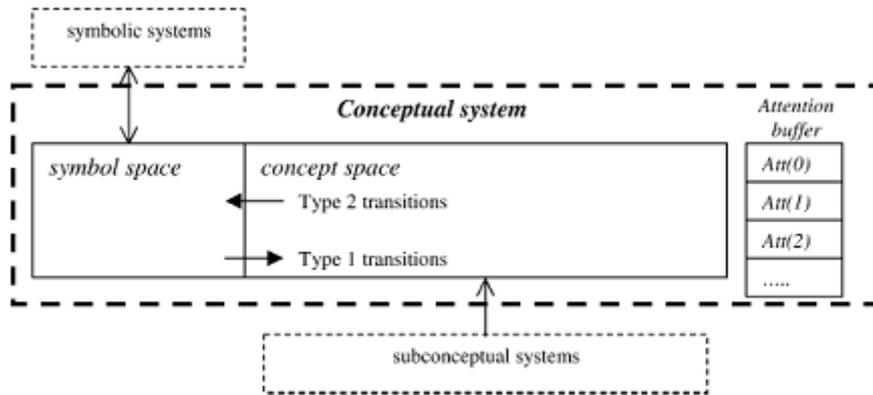


Figura 2.3 – Interface entre o espaço conceitual e simbólico
Fonte: [AG01]

Para controlar mudanças de estado em representações conceituais são utilizados *buffers* de atenção. Caso uma nova informação sobre uma determinada área de atenção seja recebida pelo sistema simbólico, esta pode ser novamente mapeada para o espaço conceitual através da transição Tipo 1. Na transição Tipo 2 avalia-se se essa nova composição do conceito implica em uma alteração da representação conceitual associada a ele. Esta avaliação é auxiliada pela associação de pesos às qualidades percebidas em representações conceituais.

Apesar do *framework* proposto por Aisbett e Gibbon focar na interface entre os níveis simbólico e conceitual, assinala-se que a proposta dos autores também prevê a existência de interfaces entre o espaço conceitual e o nível perceptual. A contribuição do trabalho de Aisbett e Gibbon estabeleceu as bases para o trabalho apresentado por Rickard [Ric06] que propõe a representação de conceitos através de matrizes que permitem assinalar o grau de correlação entre propriedades de conceitos. Conceitos são representados por conjuntos *fuzzy* o que permite a aplicação de operações para determinar similaridade entre conceitos. Recentemente, Aisbett, Gibbon e Rickard [RAG07] unificaram suas formulações a partir da proposta de um *framework* no qual propriedades são equipadas como medidas de adesão a domínios e conceitos são representados como pontos em um espaço de correlação de propriedades.

2.3.2 Meeting of minds

Além de contribuir para a representação de objetos e fenômenos, Gardenföorns e Warglien [WG13] consideram que a infraestrutura provida pelos espaços conceituais também pode contribuir para o processo de interação entre os sujeitos. Segundo os autores, os diagramas de

Voronoi estabelecem um recurso intuitivo para avaliar a composicionalidade de conceitos. Esses diagramas podem ser associados a um grafo dual que permite conectar regiões convexas a partir do centro de suas células. Esse processo é conhecido como Triangulação de Delaunay. As arestas desse grafo estabelecem pontos de convergência e representam a aproximação de regiões contíguas do espaço. A aproximação desses pontos, segundo os autores, é geralmente motivada por processos de interação entre os sujeitos nos quais se observa, na linguagem, seu principal elemento mediador (Figura 2.4).

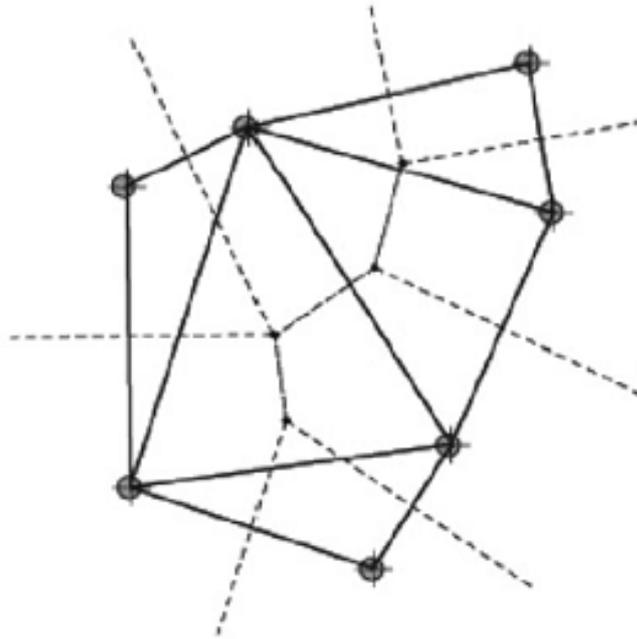


Figura 2.4 – Triangulação de Delaunay
Fonte: [WG13]

O processo comunicativo geralmente tange sobre o estabelecimento de pontos de equilíbrio entre os interlocutores acerca de um determinado tema ou percepção. Essas interações podem ser balizadas por processos de coordenação nos quais os interlocutores apresentam objetivos comuns ou processos de negociação nas quais se observam interesses divergentes, mas se estabelecem acordos para atingir objetivos comuns. Nesse sentido, a comunicação estabelece o processo sobre o qual os interlocutores buscam estabelecer a aproximação de seus pontos de convergência objetivando obter pontos de equilíbrio entre suas representações conceituais. Dessa forma, o que torna o processo comunicativo possível é a capacidade dos interlocutores de estabelecer mapeamentos entre seus espaços conceituais através de relações de similaridade derivadas de suas representações internas de objetos e fenômenos. Cabe ressaltar, entretanto, que cada sujeito desenvolve representações próprias, espaços conceituais peculiares que o capacitam a inferir sobre objetos e fenômenos. Os pontos de equilíbrio, nesse sentido, estabelecem-se a partir do alinhamento de estruturas equivalentes, porém dificilmente iguais.

A composicionalidade é uma propriedade semântica que emerge dos espaços conceituais e se refere à capacidade do sujeito de estabelecer a combinação entre regiões convexas. Esse

processo implica na geração de novas regiões que preservam as características básicas de seus predecessores. O significado da expressão “quadrado azul”, por exemplo, surge da combinação entre as dimensões forma e cor e cujo produto gera uma nova região no espaço conceitual. Esta nova região, por sua vez, herda as características básicas das dimensões que a originaram, permitindo estabelecer mecanismos para inferir sobre a região que descreve o conceito complexo. Nesse sentido, a composicionalidade permite agregar, no nível mais alto de representação conceitual, pontos de convergência que remetem a seus níveis mais básicos. Ou seja, além de um mecanismo para estabelecer a compreensão do todo, a composicionalidade permite estabelecer a decomposição do conceito até os seus níveis mais básicos, permitindo desvelar pontos de convergência nesse processo. O princípio da composicionalidade assinala que a composição de representações conceituais pode ser criada recursivamente e que estas se tornam progressivamente mais elaboradas. Nesse sentido, não é possível delinear um limite superior, porém é possível assinalar um limite inferior. O processo descendente estabelece um meio pelo qual os interlocutores buscam estabelecer pontos de equilíbrio através da comparação dos pontos de convergência que são elucidados no processo comunicativo. Ao buscar comunicar a existência de um objeto do ambiente, o sujeito buscará estabelecer estratégias para constituir pontos de equilíbrio com seu interlocutor. O sujeito buscará inferir sobre sua representação conceitual a fim de transmitir essa informação ao ouvinte. Ao receber essa informação, o ouvinte buscará criar sua representação conceitual sobre esse estado. Os interlocutores poderão inferir de forma descendente sobre suas representações de forma a desvelar pontos de convergência em busca do sucesso no processo comunicativo e no conseqüente estabelecimento de objetivos. Esse processo permite assinalar o caminho traçado pelos interlocutores até que os pontos de equilíbrio sejam alcançados.

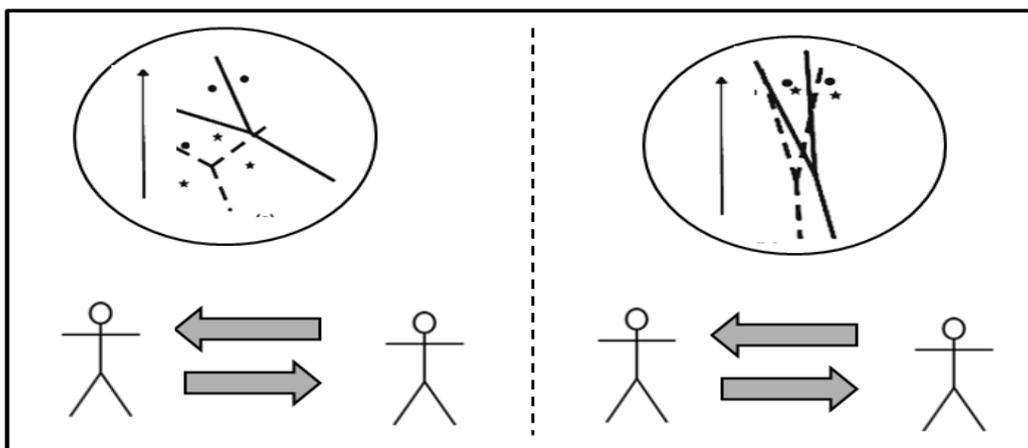


Figura 2.5 – Aproximação dos pontos de convergência
Adaptado de [WG13]

A Figura 2.5 busca exemplificar um processo de interação no qual, através da identificação de dimensões salientes, os interlocutores, cujos espaços são representados, respectivamente, pelas linhas sólidas e tracejadas, estabelecem uma aproximação de suas representações conceituais. A busca pelo equilíbrio faz com que, durante o processo de interação, o ouvinte

avaliar se pode ou não aceitar as asserções do emissor. No primeiro caso, ocorre uma expansão de sua base de crenças. Caso contrário, ocorre um processo de rejeição que pode ocasionar novas interações. A aceitação das asserções do interlocutor implica em um processo de contração por parte do ouvinte a fim de permitir que a base de crenças continue consistente. Ou seja, a partir do momento em que o ponto de equilíbrio se estabelece, o ouvinte passa a compreender o conceito comunicado pelo interlocutor e rejeita representações conceituais conflitantes. O processo de busca por pontos de equilíbrio também pode ser influenciado pelo contexto, que pode ocasionar a identificação de saliências em determinadas dimensões de qualidade, pela existência de classes contrastantes e pelo uso de metáforas na composição de representações conceituais.

2.4 Aplicabilidade dos espaços conceituais

Apesar de ser possível assinalar exemplos de diversas áreas, os espaços conceituais se notabilizam por estabelecer aporte para o desenvolvimento de aplicações voltadas à área da robótica. Os primeiros trabalhos com esse intuito foram desenvolvidos por Chella et al [CG01, CGP01]. Em [CCFS04], Chella e colaboradores descrevem um mecanismo de ancoragem implementado com base em espaços conceituais. Neste, as percepções recebidas pelo sistema perceptual, assim como os predicados simbólicos, são mapeadas para pontos do espaço conceitual que são denominados *knoxels*. Este mapeamento pode ocorrer através de duas funções distintas que, respectivamente, realizam a associação das representações perceptuais a conjuntos de *knoxels* e o mapeamento de predicados unários a áreas do espaço conceitual. Nesse contexto, a âncora proposta pelos autores seria formada por $\alpha(x,t)=(x,k,p)$, onde x contém a representação simbólica do objeto, k assinala o *knoxel* com a representação corrente do objeto e p o *knoxel* com a representação do objeto no instante t .

Leblanc and Saffioti [LS08] buscaram desenvolver uma estratégia para estabelecer a convergência de informações provenientes de diferentes fontes de dados. A partir da configuração de um ambiente inteligente composto por um robô, câmeras, objetos inteligentes com leitores RFID e objetos comuns dotados de tarjas RFID, propõe-se o estabelecimento de um mecanismo para fundir as informações representadas nos espaços conceituais dos diferentes agentes. A fusão dessas informações é resultante do produto de conjuntos *fuzzy* que têm origem nas representações conceituais armazenadas nos espaços conceituais dos agentes. Para corroborar essa proposta, os autores apresentam um exemplo prático da aplicação do *framework*, na qual a partir de uma tarefa originada pelo sistema simbólico o robô deve realizar a busca de um determinado objeto do ambiente. Inicialmente, o robô estabelece o mapeamento de todas as posições possíveis em que o objeto poderá se encontrar. Ao consultar a câmera sobre a posição desse objeto, aciona-se o sistema perceptual daquela, que realiza o mapeamento dos objetos identificados para seu espaço conceitual. Uma vez identificado o objeto desejado, as informações sobre sua localização são enviadas ao robô, que realiza a fusão da representação conceitual enviada com sua representação individual. Em caso de existência de objetos com

características físicas semelhantes, ainda é possível buscar informações em objetos inteligentes que realizam a leitura das etiquetas RFID. Por meio dessa entrada simbólica, é possível atualizar as informações sobre a localização do objeto desejado. A combinação de todas as informações recebidas pelo robô permite que ele se aproxime do objeto desejado e certifique-se de sua localização através de sua própria câmera *on-board*. O experimento de Leblanc and Saffioti se notabiliza por permitir a fusão de informações representadas pelos espaços conceituais dos agentes do sistema.

Se o cerne do trabalho de LeBlanc and Saffioti está no processo de fusão de propriedades provenientes de diferentes sensores em um único domínio e com as mesmas dimensões, a pesquisa desenvolvida por Zsolt [Zso09] se centra no estabelecimento de uma estratégia para viabilizar o compartilhamento de informações entre robôs com representações de diferentes domínios. Partindo do princípio realista de que sistemas são compostos por agentes heterogêneos tanto no que tange aos sistemas de representação de informações quanto à qualidade e à diversidade de sensores, o autor propõe uma estratégia para realizar o mapeamento de informações entre representações similares. Nela, busca-se estabelecer a convergência de informações captadas por robôs que utilizam diferentes sistemas para a representação de cores (RGB e HSV, no caso) e possuem diferentes perspectivas em relação a objetos identificados no ambiente. Cada robô possui um conjunto de símbolos que são mapeados para um espaço conceitual cujas regiões são representadas por modelos de mistura gaussianos (MMG). Para cada par de robôs, realiza-se o mapeamento dos *clusters* individuais para uma matriz de confusão, a fim de determinar pares de propriedades que potencialmente representam a mesma característica observada em determinado objeto.

2.5 Um modelo algébrico para os espaços conceituais

Buscando motivar o desenvolvimento de aplicações baseadas na teoria dos espaços conceituais, Adams e Raubal [AR09b] propuseram que as regiões do espaço conceitual poderiam ser definidas como polítopos convexos. A partir desse formalismo, os autores desenvolveram uma álgebra abrangente que descreve os componentes e as operações que podem ser realizadas no espaço conceitual. Um polítopo consiste em uma generalização dos conceitos de polígono e poliedro e representa a interseção de um número finito de semiespaços ². Um polítopo convexo é representado por um conjunto convexo de em um espaço multidimensional.

Adams e Raubal assinalam que a escolha desse construto é motivada pelo fato de que operações envolvendo polítopos são computacionalmente tratáveis, e essas estruturas permitirem representar a intersecção de um grande número de dimensões. No modelo proposto, os autores assinalam a distinção entre a representação dos elementos geométricos (regiões e pontos) e elementos conceituais (conceitos, propriedades e instâncias). Regiões e pontos estão

²O espaço representa o conjunto de todos os planos. É ilimitado, infinito e possui todas as representações geométricas. Quando uma reta divide o espaço em partes estas partes são chamadas de semiespaços.

associados a apenas um domínio, e não ao espaço conceitual como um todo. Já conceitos e instâncias, por outro lado, podem abranger um ou mais domínios. Os autores formalizam os elementos que compõem o espaço conceitual métrico da seguinte forma:

Definição 2.5.1. O espaço conceitual métrico é definido como uma tupla de seis elementos $S=(D, C, I, T, N, s)$, na qual:

- D é um conjunto finito de domínios, onde o domínio $d \in D$.
- C é um conjunto finito de conceitos onde o conceito $c \in C$.
- I é um conjunto finito de instâncias onde a instância $i \in I$.
- T é um conjunto finito de classes contrastantes, onde $t \in T$.
- K é um conjunto finito de contextos, onde $k \in K$.
- s é um parâmetro utilizado em operações de determinação de similaridade.

Em concordância com os pressupostos da teoria de Gärdenfors, a inter-relação entre domínios e dimensões de qualidade é definida pelos autores como segue:

Definição 2.5.2. Um domínio d é formado pelo conjunto de dimensões de qualidade Q de tal forma que $d=Q$. O conjunto Q representa o conjunto de dimensões de qualidade integrais que formam o domínio de tal forma que $q \in Q$.

Definição 2.5.3. Uma dimensão de qualidade é definida pela tripla $q=(m,r,o)$, onde

- m indica a medida ou escala utilizada na dimensão.
- r refere-se ao intervalo utilizando pela dimensão definido pelo par $r = (\text{Max}, \text{Min})$.
- o assinala se a dimensão é circular ou não, de tal forma que $o \in \{\text{true}, \text{false}\}$.

O elemento m assinala se as medidas podem ser utilizada pelas dimensões de qualidade: ordenação, intervalos e proporção. A escala ordinal refere-se ao estabelecimento do ranqueamento dos elementos do espaço, já intervalos e proporção indicam medidas equalizadas para posicionar os elementos da dimensão. A propriedade r indica os limites da região. A propriedade o permite indicar se uma dimensão é circular, o que em caso positivo determina a adequação do valor máximo de distância para $\frac{r_{max}-r_{min}}{2}$. As regiões são definidas através de polígonos multidimensionais conhecidos como politopos. Os conceitos são representados por coleções de regiões e encontram-se associados a uma instância prototípica que permite assinalar a tendência central do conjunto que ele representa. As propriedades, por sua vez, representam conceitos associados a apenas uma região:

Definição 2.5.4. Uma região convexa é definida como um politopo em um espaço n-dimensional que corresponde a um determinado domínio.

Definição 2.5.5. Um conceito é definido pelo par $c = (V, P)$ onde,

- V é um conjunto de regiões convexas que apresenta uma relação injetiva sobre o conjunto D sendo que somente pode haver uma região por domínio.
- P refere-se à determinação da instância prototípica do domínio.

Definição 2.5.6. Uma propriedade é definida como um conceito associado a apenas uma região convexa ($V = 1$).

Uma região convexa do espaço conceitual é definida como um polítopo que representa a intersecção de um conjunto de semiespaços. Nesse sentido, uma região em um domínio multidimensional pode ser definida com a matriz $Aq \leq b$, onde cada linha da matriz A e do vetor transposto b corresponde a coeficientes de desigualdades até o i -ésimo (i_{th}) limite dos semiespaços do polítopo e q é um vetor transposto que corresponde às n dimensões que compõem o domínio:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{n1} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$$

Por fim, os autores estabelecem formalizações para instâncias e contextos definidos a seguir:

Definição 2.5.7. Uma instância i é definida como um conjunto finito de pontos com uma relação injetiva com D , ou seja, somente pode haver um ponto referente a instância em cada domínio.

Definição 2.5.8. Um contexto k é definido pelo par $k = \langle \omega, \text{componente} \rangle$ que compreende a associação de pesos de saliência a componentes do espaço conceitual. Na especificação do contexto, os componentes devem referir-se a elementos do mesmo tipo, como, por exemplo, dimensões de qualidade. Além disso, os pesos no contexto devem especificar um valor entre $0 \leq \omega_i \leq 1$ de tal forma que $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$.

A partir da formalização dos elementos que compõem o espaço conceitual, Adams e Raubal definem operações que podem ser realizadas sobre eles. Os autores propõem três operações básicas:

- $v_1 \cap v_2$: calcula a intersecção entre duas regiões convexas que é obtida a partir do cálculo da intersecção de dois polítopos convexas.

- $\text{dist}(p_1; p_2; k) \rightarrow R$: determina a distância entre dois pontos de um mesmo domínio a partir do uso de métricas euclidianas. Sobre esses pontos é possível aferir pesos que são determinados pelo contexto k . Esta operação é representada pela fórmula a seguir na qual n é $|Q|$, e i indica a ordenação de Q , q_i representa o i -ésimo elemento do conjunto ordenado e $(\omega_i, q_i) \in k$:

$$\text{dist}(p_1; p_2; k) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \omega_i (p1_i - p2_i)^2}$$

- $p \in v \rightarrow \text{Boolean}$: na operação de inclusão, dado um ponto e uma região representada por um polítopo, determina-se se o primeiro satisfaz o sistema linear de desigualdades.

Remontando aos princípios do trabalho de Shepard [She87], os autores assinalam que similaridade entre dois objetos pode ser medida através de uma função exponencial de decaimento formalizada por $\text{sim}_{ij} = e^{-cd_{ij}}$, onde i e j representam objetos, d_{ij} a distância entre eles e c assinala o parâmetro para regular a taxa de decaimento da função de similaridade. Com base nesses princípios, os autores propõem formalizar operações para estabelecer relações de similaridade. A operação $\text{Sim}(I_a, I_b, k, K) \rightarrow \mathbb{R}$ assinala a similaridade entre duas instâncias por meio de uma função formalizada por: $\text{Sim}(I_a, I_b, k, K) = e^{-cd(I_a, I_b, k, K)}$. Da mesma forma, a operação $\text{Sim}(V_a, V_b, k, K) \rightarrow \mathbb{R}$ utiliza uma função de decaimento de distância para mensurar a distância entre regiões de um domínio. Como parâmetros para essa função, é possível utilizar pontos prototípicos de cada região ou instância.

Em sua concepção, os autores propõem três algoritmos que formalizam operações para realizar combinações entre conceitos, entre propriedades e conceitos e entre propriedades contrastantes e conceitos. A álgebra proposta por Adams e Raubal estabeleceu as bases para o desenvolvimento da linguagem CSML (*Conceptual Space Markup Language*), que será apresentada nos próximos capítulos.

2.6 Orientação e mobilidade para pessoas cegas

Por meio do sentido da visão, o sujeito é capaz de extrair características de objetos, como forma, cor, tamanho, localização e distância. A visão permite estabelecer um processo de formação de conceitos que permitem ao sujeito estabelecer elementos para realizar a classificação de objetos. Além disso, permite ao sujeito construir um modelo mental do ambiente que permitirá auxiliá-lo na realização de suas atividades. A aprendizagem baseada na observação, entretanto, é limitada para pessoas que são cegas. Elas se relacionam com o ambiente utilizando outros canais sensoriais e, muitas vezes, se valem da memória e de descrições feitas por outras pessoas para obter informações sobre o local em que se encontram. Essas informações auxiliam na construção do mapa mental ou mapa cognitivo que se estabelece como um recurso importante

sobre o qual a pessoa cega poderá inferir para resgatar informações relevantes que a auxiliarão durante o seu deslocamento no ambiente.

2.6.1 Modelos mentais e formação de conceitos

A compreensão do processo que resulta na construção deste construto remete aos princípios do processo de formação de conceitos. Os princípios aristotélicos assinalam a experiência como elemento primordial para a aquisição de conhecimentos que são adquiridos a *posteriori*. A experiência é considerada por Aristóteles fonte e critério de conhecimento, ou seja, pelos sentidos os objetos são percebidos pelo sujeito. Conhecer, segundo Aristóteles, significaria formar conceitos, categorizar os objetos com base em suas características usando a sensação, a percepção, a imaginação, a memória, o raciocínio e a intuição. Os contínuos processos de abstração e generalização conduziram à formação de conceitos. Os saberes estão relacionados diretamente à formação e à aplicação de conceitos. Portanto, conhecer decorre da capacidade do sujeito de combinar juízos e, ao fazê-lo, de construir conceitos que possam ser atribuídos a todos os objetos [Dur54]. Em contraponto, Kant assinalou que o processo de aquisição do conhecimento reúne a experiência e a razão, determinantes na percepção do mundo [Kan01]. O conhecimento se origina na experiência a *posteriori* e das formas e conceitos a *priori* do sujeito. Nesse sentido, o objeto do conhecimento identificado pelos sentidos se relaciona às características da razão. Segundo o autor, o conhecimento que tenha início na experiência não implica que ele possa ser reduzido à experiência. Na visão do filósofo, a experiência é a ocasião para a elaboração do conhecimento; a experiência demanda a existência de categorias a *priori* (qualidade, quantidade, causalidade, modalidade). Para Kant, o conhecimento é construído. Os conceitos organizam diversos aspectos de um objeto sob uma representação comum, e o juízo é um elo entre as representações que culmina na formação de um conceito: “pela primeira um objeto é dado, pela segunda (ele) é pensado com relação a essa representação” [Kan01, p. 114].

A influência das proposições kantianas pode ser percebida na teoria interacionista de Piaget [Pia78, Pia73], que considera que a aquisição do conhecimento incorre de duas operações: assimilação e acomodação. A primeira é o processo cognitivo no qual o sujeito associa a nova informação às estruturas cognitivas prévias, e a acomodação consiste na adequação do novo saber aos esquemas existentes. Essas estruturas permitem identificar, processar e classificar os estímulos na perspectiva de adaptação do sujeito por meio de sucessivos processos que lhe permitem manter-se em equilíbrio com o meio ambiente. Dessa forma, o cérebro humano cria esquemas como forma de ação e reação diante de informações captadas do meio ambiente. A elaboração das estruturas mentais decorre de estratégias de interação organizadas pelo próprio sujeito. Vygotsky [Vyg98b, Vyg98a] assinala que o processo de formação de conceitos implica na existência de um sistema hierárquico no qual conceitos se encontram inter-relacionados. Para o autor, os conceitos são generalizações que permitem o estabelecimento de relações de subordinação, superordenação e equivalências. De acordo com Ausubel [Aus03], o sistema de

conceitos reflete a estrutura cognitiva do sujeito. Segundo o autor, essa estrutura hierárquica permite acomodar as percepções e estabelecer um processo de formação de conceitos. Mesmo não estabelecendo uma relação direta, as teorias interacionistas de Piaget, Vygotsky e Ausubel estabelecem entre si pontos de contato. A ideia de uma estrutura capaz de armazenar e organizar representações conceituais é compartilhada pelos três autores. Da mesma forma, eles assinalam a existência de operações responsáveis pela manutenção dessa estrutura, a partir das quais é possível refinar representações conceituais já existentes ou estabelecer os alicerces para que novos conceitos sejam armazenados nela. Os autores, entretanto, pouco esclarecem sobre as estruturas internas que constituem as representações conceituais. Buscando estabelecer um modelo capaz de evidenciar a complexidade dessas estruturas, Johnson-Laird assinala que o processo de construção do conhecimento é auxiliado pela existência de um construto representacional denominado modelo mental [Joh83]. Segundo o autor, os modelos mentais são compostos por representações analógicas e proposicionais com base nos conhecimentos prévios do sujeito. As proposições são representações abstratas de significados e são verbalmente expressáveis. Imagens são representações específicas que retêm aspectos perceptivos de determinados objetos ou eventos. Para o autor, ambas as formas podem ser conjugadas, criando representações internas de conceitos, objetos ou eventos que são espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais do sujeito. Assim, em vez de uma lógica mental, as pessoas usam modelos mentais para raciocinar.

Outra importante contribuição para o estudo do processo de formação de conceitos é fornecida por Rosch [Ros99], que, em sua teoria, aponta para a existência de elementos mais representativos em categorias de conceitos. Denominados pela autora como protótipos, a identificação desses elementos pode auxiliar no processo de categorização de fenômenos e objetos percebidos no ambiente pelo sujeito. Lakoff [Lak87] buscou explicar a natureza do fenômeno prototípico propondo a teoria dos Modelos Cognitivos Idealizados (MCI). Segundo essa teoria, o sistema conceitual é constituído por quatro modelos: modelo proposicional, modelo de esquema de imagens, modelo metafórico e modelo metonímico. Os modelos proposicionais são constituídos pela organização ontológica de entidades que apresentam propriedades particulares e estabelecem relações entre si. Os esquemas de imagens constituem um modelo que remete aos registros de imagens sinestésicas originados da percepção que o sujeito tem sobre o corpo, sobre os movimentos corporais e sobre o formato de objetos. Ambos os modelos delineiam domínios concretos que refletem a relação entre o sujeito e o meio. Os modelos metonímicos e metafóricos compõem domínios abstratos que são resultantes da projeção de elementos especificados em domínios concretos. A importância das metáforas no processo de raciocínio é um dos temas centrais das pesquisas de Lakoff. Segundo o autor, as metáforas estabelecem as bases para que conceitos complexos sejam delineados a partir de conceitos primitivos. Na visão do autor, todo o conhecimento é corporificado, ou seja, mesmo as representações mais abstratas dependem de representações concretas originárias do aparato cognitivo do sujeito. Assim, para estruturar o conceito abstrato de tempo, por exemplo, o sujeito pode buscar estabelecer relações com suas

experiências concretas sobre orientação espacial. Nesse sentido, a ideia de que algo está atrás ou adiante estabelece as bases para que o sujeito delinear seus conceitos sobre passado e futuro.

Interessante observar que os trabalhos de Johnson-Laird, Rosch e Lakoff, entre outros, estabeleceram as bases sobre as quais Gärdenfors desenvolveu os princípios da semântica cognitiva que fundamentam a teoria dos espaços conceituais. Nos espaços conceituais, o processo de formação de conceitos parte do pressuposto de que as características observadas em objetos determinam o processo de categorização. Esta assinala a capacidade de se estabelecer similaridade entre conjunto de percepções e representações conceituais dispostas em regiões convexas do espaço conceitual.

2.6.2 Orientação e mobilidade

Para realizar seu deslocamento, o indivíduo conta com um conjunto de recursos visuais que permitem planejar como chegar ao local desejado [LG10]. A identificação de pontos de referência e obstáculos é um exemplo de informações que são extraídas do ambiente pelo indivíduo no intuito de estabelecer sua orientação espacial. Para deficientes visuais, o desenvolvimento dessa capacidade implica em esforços adicionais, uma vez que eles devem valer-se de estratégias alternativas para atingir esse fim. Cegos precisam detectar obstruções, identificar escadas, avaliar se devem atravessar uma rua, identificar paradas de ônibus, entre uma série de outras tarefas rotineiras que tendem a ser cognitivamente onerosas e devem ser solucionadas muitas vezes em um curto intervalo de tempo [GL08].

A orientação espacial pode ser definida como: “o conhecimento do sujeito sobre sua distância e direção em relação a coisas observadas ou lembradas e sua capacidade de manter estas relações espaciais na medida em que se locomove” [BWW97, p. 750]. Para Pick [Pic80, p. 80] a orientação espacial reflete “a capacidade do sujeito de conhecer onde os objetos estão em relação uns aos outros e em relação a nós mesmos”. Dois aspectos são relevantes nesse processo: a atualização espacial e o uso de quadros de referência. O primeiro se refere à capacidade do sujeito de manter informações sobre distâncias e direções de objetos na medida em que se move. Essa característica compreende tanto a identificação de objetos simples cuja posição se modifica à medida que o sujeito se movimenta, quanto a identificação de objetos complexos que podem assinalar a transição entre locais. Essas informações podem, por exemplo, auxiliar o sujeito a determinar a transição de uma calçada para uma rua ou estabelecer a referência desses objetos para determinar se ele está próximo do local desejado. O segundo aspecto a ser considerado se refere ao uso de quadros de referência. Estes podem ser classificados como egocêntricos ou alocêntricos. Os quadros de referência egocêntricos assinalam informações que são recuperadas exclusivamente em relação à perspectiva do sujeito. Ao inferir que um objeto está à frente e à esquerda, o sujeito estabelece a localização desse objeto a partir de seu ponto de vista. Ao usar o quadro de referência alocêntrico, o sujeito relaciona objetos e locais independentemente de seu ponto de vista. Identificar objetos a partir da localização de outros objetos ou determinar

locais que se localizam entre outros locais são exemplos de operações inerentes ao uso desse tipo de quadro de referência. Conforme Long e Giudice [LG10], é importante o desenvolvimento da percepção aloentrica do espaço, uma vez que estimula a constituição de projeções mentais flexíveis sobre o espaço, que permitem estabelecer relações sobre múltiplas formas de realizar o deslocamento até o destino desejado.

A orientação espacial é estática no que se refere à percepção das divisões físicas que formam um ambiente, ao mesmo tempo em que é dinâmica, no sentido que se refaz a cada nova informação do ambiente que vai surgindo. Assim, para que esse processo possa ocorrer de forma dinâmica, é necessário que sejam considerados recursos que facilitem a navegação da pessoa que é cega, tais como pontos de referência, pistas, medições, pontos cardeais, indicação de rotas, dentre outros. Carney et al [CESK03] sugerem incluir símbolos, tais como etiquetas em diferentes partes do ambiente, e possibilitar a associação entre os objetos no que se refere a sua forma e seu nome, além da escolha de adequadas técnicas de mobilidade para atender às necessidades específicas de cada pessoa cega em diferentes situações [CDI05]. Pontos de referência estabelecem um recurso importante no auxílio ao deslocamento de deficientes visuais. Aqueles podem ser classificados como primários ou secundários e assinalam elementos constantes do espaço que são reconhecidos pelo sujeito (objetos, sons, odores, temperaturas). Os pontos primários dizem respeito a referências que se encontram no caminho do sujeito e sempre são percebidas por ele. A alteração da textura de uma rua ou calçada, por exemplo, estabelece um referencial primário para o deficiente visual determinar sua localização. Pontos secundários também são fixos, porém não se encontram diretamente no caminho do sujeito e podem não ser percebidos. Para identificar esses pontos, o sujeito deve explorar as adjacências da rota para perceber sua existência. A localização de um semáforo ou de um telefone público é um exemplo de ponto de referência secundário. Pontos de informação também podem ser utilizados para auxiliar na orientação do sujeito. Diferentemente dos pontos de referência, os pontos de informação não são únicos, mas podem ser conjugados com outros elementos para estabelecer informações sobre a localização do sujeito. A localização de um parquímetro próximo a um telefone público, por exemplo, pode estabelecer um ponto de informação para o sujeito. Apesar de haver vários parquímetros e telefones públicos no caminho, quando ambos aparecem em conjunto estabelecem um referencial para o sujeito determinar sua localização. Tanto pontos de referência quanto pontos de informação provêm informações úteis para o sujeito corroborar ou determinar alterações em seu trajeto de deslocamento.

2.6.3 Mapa cognitivo

Segundo Golledge et al [GKL96], a ausência de visão resulta em desafios para processar informações espaciais de forma integrada. Sujeitos com visão perfeita tendem a estabelecer rotas com base na distância e no uso de pontos de referência para atingir seus objetivos. Pessoas cegas tendem a obter pontos de referência com o auxílio dos demais sentidos ou por meio de

informações obtidas de outras pessoas. Esse recurso permite aos cegos fazer uso da memória para estabelecer rotas para seu deslocamento. Tão importante quanto perceber informações relevantes e manter a orientação é a capacidade de recuperar informações sobre rotas e sobre o arranjo físico de determinados locais. O termo mapa cognitivo é utilizado para designar formas utilizadas pelo sujeito para recuperar imagens mentais sobre distâncias e direções de locais que estão fora de seu alcance perceptual. Refere-se a um ponto de vista abstrato, aloccêntrico, uma representação mental do espaço que preserva pontos de referência, rotas e relações entre esses elementos. Mesmo não sendo uma representação fiel da realidade, trata-se de um recurso eficiente para o sujeito delinear seu deslocamento [Gol99]. Nesse sentido, estabelecer e manter a orientação envolve um ciclo de percepção e ação no qual as ações são guiadas pelas expectativas do sujeito em relação às informações perceptuais sobre o que ele espera encontrar ao longo de seu trajeto. Para Riecke e Heyde [Rie02], o conhecimento espacial demanda presença espacial e imersão, o que capacita o sujeito a realizar um processo de atualização espacial. Ao estabelecer a atualização espacial, o sujeito é capaz de redefinir sua representação egocêntrica mental do ambiente com base nas informações percebidas ao longo de seu deslocamento pelo espaço. Por isso, as informações coletadas são confrontadas com conhecimentos prévios, para que seja planejada uma estratégia de deslocamento. Entretanto, quando as percepções não corresponderem às expectativas, faz-se necessário restabelecer o processo de orientação. O reconhecimento de lugares desconhecidos, por outro lado, estabelece desafios adicionais ao deficiente visual, uma vez que este não tem conhecimentos prévios sobre aqueles. Faz-se necessário, nesse contexto, o estabelecimento de pontos de referência e informações sobre o local investigado, que, uma vez adquiridos, permitirão assistir o sujeito na construção de seu mapa cognitivo sobre este local, assim como auxiliá-lo em futuras incursões sobre ele.

2.7 Considerações finais

Neste capítulo, buscou-se estabelecer uma breve revisão sobre os princípios que balizam a arquitetura BDI e que motivaram o desenvolvimento da linguagem AgentSpeak que estabeleceu as bases para o desenvolvimento do *framework* Jason que será introduzido nos próximos capítulos. Mesmo reafirmando a robustez das representações simbólicas Gärdenfors assinala que a complexidade do processo cognitivo suscita a necessidade de um modelo conceitual. Alicerçado nos pressupostos da semântica cognitiva, Gärdenfors buscou estabelecer um modelo de representação do conhecimento fundado em estruturas geométricas. O autor propõe a existência de um espaço multidimensional capaz de representar de forma condizente diversos aspectos do processo cognitivo. Nos espaços conceituais, propriedades e conceitos são representados por regiões convexas. Propriedades são representadas por pontos nessas regiões. Conceitos complexos, por sua vez, representados por elementos que indexam pontos de diversas regiões do espaço conceitual. A categorização de novos objetos está atrelada ao uso de operações para determinar a similaridade entre observações e representações conceituais que culminam na alo-

cação de objetos nas regiões correspondentes do espaço conceitual. No sentido de motivar o desenvolvimento de aplicações com base no paradigma dos espaços conceituais, Adams e Raubal um modelo algébrico que permite representar regiões do espaço conceitual através de polígonos de múltiplas dimensões denominados politopos. A proposta dos autores culminou no desenvolvimento de uma API da a linguagem de marcação CSML. O *framework* Jason e a CSML API estabelecem as bases para o desenvolvimento do sistema proposto, e serão detalhados nos capítulos seguintes.

Neste capítulo, também se buscou discutir aspectos relevantes acerca da problemática sobre a mobilidade de deficientes visuais. A partir da revisão sobre o processo de formação de conceitos, objetivou-se estabelecer as bases para a compreensão do processo cognitivo relacionado à construção de mapas mentais. Observa-se a necessidade de se estabelecer recursos para possibilitar ao usuário cego a composição conceitual do ambiente no qual ele se encontra inserido, oferecendo-lhe as informações necessárias para viabilizar seu deslocamento. Segundo os autores, o desenvolvimento de técnicas que auxiliem a qualificar a consciência espacial dos indivíduos cegos é essencial para auxiliar na orientação e na mobilidade desses indivíduos. Determinar a forma como os sujeitos relacionam objetos ou locais que eles não podem ver, ouvir ou sentir e a forma como eles usam essas informações para planejar e executar rotas é fundamental para o processo de orientação e mobilidade. A problemática apresentada permitiu delinear parâmetros para o desenvolvimento do sistema proposto, como poderá ser observado nos próximos capítulos.

3. PROBLEMA DE PESQUISA

O capítulo anterior retomou princípios da arquitetura BDI e da teoria dos espaços conceituais. A arquitetura BDI tem sua origem na Teoria do Raciocínio Prático (*Theory of Human Practical Reasoning*) que ratifica o papel das crenças no processo de raciocínio do agente. As crenças representam o entendimento que o agente tem sobre o ambiente em que se encontra. No que tange ao reconhecimento de objetos, as crenças do agente resultam do processamento de um conjunto de percepções que representam as características observadas nos mesmos. Esse conjunto de percepções representam propriedades que permitirão ao agente classificar um objeto percebido e adicionar a sua base de conhecimento a crença sobre a presença do mesmo no ambiente. Para que esse processo seja possível faz-se necessária uma estrutura capaz de organizar essas percepções recebidas pelo aparato cognitivo do agente e estabelecer a categorização dos objetos percebidos. Considera-se que com o desenvolvimento de um nível de representação conceitual baseado na teoria dos espaços conceituais esse objetivo possa ser atingido. A teoria desenvolvida por Gärdenfors pontua a necessidade um nível de representação capaz de realizar a interface entre os níveis perceptual e simbólico. O nível conceitual, segundo essa teoria, seria representado por um espaço geométrico multidimensional particionado em regiões convexas que expressam conceitos. Nesse espaço, conceitos são representados por um conjunto de regiões convexas que assinalam as propriedades que podem ser observadas em objetos (cor, forma, textura, etc.). Essas regiões abrangem os elementos que representam instâncias de conceitos que são representadas por pontos. Essas instâncias representam vetores de pontos e tendem a se organizar na região de acordo com sua representatividade. Ao centro dessas regiões encontra-se o elemento mais prototípico das mesmas. Essa organização das regiões do espaço conceitual permite estabelecer um mecanismo objetivo para determinar a classificação de objetos. A similaridade entre um objeto percebido no ambiente e as representações conceituais da base de conhecimento do agente pode ser obtida partir do cálculo da distância de vetores de pontos que representam respectivamente o objeto e o elemento prototípico de cada conceito. Nesse sentido, a proximidade entre o objeto e o elemento prototípico permite determinar qual região do espaço melhor representa o objeto percebido. O capítulo anterior também apresentou o modelo algébrico desenvolvido por Adams e Raubal que propõe o uso de politopos para representar as regiões do espaço conceitual. A proposta dos autores resultou no desenvolvimento de uma API e da linguagem de marcação CSML que permite realizar a especificação de espaços conceituais de acordo com a álgebra proposta pelos autores.

Observou-se que por meio dessa API seria possível estabelecer a implementação de um espaço conceitual para representar objetos e que a plataforma Jason permitiria estabelecer os recursos necessários para realizar a integração do mesmo a arquitetura do agente BDI. Como resultado, esta integração permitiria constituir um mecanismo para representar adequadamente as características percebidas em objetos e determinar parâmetros para estabelecer a sua classificação. Além disso, a implementação do nível conceitual também permitiria otimizar a base de

crenças do agente também pode ser otimizada uma vez que as percepções são tratadas no nível conceitual e somente as crenças resultantes do processo de classificação precisam ser adicionadas na base de conhecimento do agente. O espaço conceitual permite dirimir o distanciamento entre as representações armazenadas no nível simbólico e perceptual. Ao tornar esse nível de representação parte do processo de raciocínio do agente BDI, estabelece-se a possibilidade de o agente recuperar as informações perceptuais que resultaram nas crenças sobre objetos armazenadas em sua base de conhecimento. Isto permite ao agente resgatar a fundamentação de suas crenças ao mesmo tempo em que permitiria qualificar o processo de comunicação com seus pares. Nesse sentido, esta tese busca contribuir com a proposta de integração de um nível conceitual baseado na teoria dos espaços conceituais para representar objetos a arquitetura do agente BDI objetivando qualificar o processo de raciocínio realizado pelo mesmo. Para avaliar essa abordagem estabeleceu-se o objetivo de desenvolver um protótipo para auxiliar na mobilidade de deficientes visuais. O sistema objetiva realizar o reconhecimento de objetos no local que o usuário cego se encontra e fornecer ao mesmo informações que auxiliem na construção de sua representação mental do ambiente.

No capítulo anterior foi apresentada a problemática acerca da mobilidade de pessoas cegas. Segundo Lowenfeld [Mac03]: “o mundo da criança cega é aquele que ela alcança com seus braços abertos”. Com essa proposição, o autor busca pontuar a necessidade de se criarem recursos que permitam auxiliar a pessoa cega na execução de suas tarefas cotidianas e expandir a sua percepção do mundo. Nesse sentido, estabelece-se a necessidade de um sistema capaz de realizar a identificação dos objetos e estabelecer seu posicionamento no espaço físico. Landau e Jakendoff [LJ93] assinalam o uso de sistemas cognitivos distintos para o reconhecimento de objetos: um sistema que determina a qual objeto o sujeito está se referindo (*what system*) e um sistema que assinala a localização daquele no ambiente (*where system*). Nesse sentido, estabelece-se a necessidade de caracterizar o ambiente no qual o usuário encontra-se inserido o que lhe permitiria resgatar da memória informações com base nos seus conhecimentos prévios ou estabelecer um recurso para auxiliá-lo em incursões futuras no novo ambiente. Segundo Casey [Ung00] o desempenho de pessoas cegas no que tange a seu deslocamento no ambiente está intrinsicamente ligado a seu conhecimento prévio sobre rotas familiares. Os autores ressaltam a necessidade de oferecer recursos que permitam que pessoas cegas construam mapas mentais dos ambientes e possam ter mais confiança para conhecer lugares e reconhecer objetos que integram esses espaços.

Ao longo dos anos, diversas pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de se criar dispositivos que auxiliassem na mobilidade de deficientes visuais. Tecnologias como sensores de infravermelho, laser e processamento de imagens foram avaliadas como alternativas para estabelecer mecanismos para realizar a identificação de objetos do ambiente. Dispositivos GPS também vêm sendo avaliados no sentido de verificar como informações georreferenciadas podem auxiliar na mobilidade de deficientes visuais. O uso de signos linguísticos alternativos, como o uso de sons para qualificar cores, também faz parte do escopo de pesquisas realizadas com o

intuito de desenvolver dispositivos que auxiliem no deslocamento de pessoas cegas ou de baixa visão. Entretanto, questões de custo e dificuldades de uso se interpõem como obstáculos para a adoção dessas tecnologias [GL08]. Nesse sentido observa-se que para superar esses obstáculos, estabelece-se a necessidade de desenvolver um sistema que possa ser facilmente adequado ao cotidiano do usuário sem acarretar em dificuldades na realização de suas tarefas rotineiras.

Nesta tese busca-se estabelecer através da plataforma Jason e da linguagem de programação CSML os recursos necessários para o desenvolvimento da arquitetura que integra o nível conceitual baseado em espaços conceituais ao processo de raciocínio do agente BDI. Esta integração estabelece a base do sistema para auxílio a mobilidade de usuários cegos que será utilizado para realizar a validação da abordagem proposta. O detalhamento da arquitetura proposta e dos recursos necessários para o desenvolvimento do sistema proposto serão apresentados nos capítulos a seguir.

4. INTEGRAÇÃO DO ESPAÇO CONCEITUAL AO NÍVEL SIMBÓLICO DO AGENTE JASON

Buscando estabelecer um mecanismo para organizar as percepções do agente BDI, o presente capítulo apresenta a proposta de integração do espaço conceitual ao processo de raciocínio do agente Jason. No contexto do protótipo desenvolvido, o espaço conceitual foi utilizado para auxiliar na classificação dos objetos percebidos no ambiente no qual o usuário cego se encontra. Nesse sentido, será apresentada a definição das dimensões do espaço conceitual e especificação da base de conceitos utilizada para realizar a classificação de objetos. O capítulo também apresenta os algoritmos utilizados para realizar a classificação de objetos, ambientes e detalha os planos implementados no nível simbólico do agente Jason que permitiram estabelecer a interface do sistema com o usuário cego.

4.1 O processo de extração e classificação de informações

O processo de classificação tem origem no nível perceptual no qual ocorrem os processos de segmentação e extração de características dos objetos identificados na imagem capturada pelo dispositivo móvel. No protótipo, esse processo é realizado utilizando os recursos da biblioteca gráfica OpenCV [H⁺]. O processo de classificação tem início com a projeção dessas características no espaço conceitual. No sistema, esse espaço conceitual foi implementado com auxílio da CSML API. O espaço conceitual representa o nível de representação no qual estabelece-se o processo de classificação de objetos que ocorre quando torna-se possível associar o vetor que contém os pontos que descrevem um objeto a uma das regiões do espaço conceitual. Quando a classificação ocorre, adiciona-se as crenças sobre o objeto na base de conhecimento do agente Jason. No nível simbólico, é adicionada a base de crenças do agente a descrição do conceito que representa o objeto, sua cor e posição. Essas informações permitirão compor a mensagem que será lida para o usuário cego. Por exemplo, se o sistema identificar uma cadeira preta, o dispositivo móvel deverá ler para o usuário a mensagem: “cadeira preta: posição em frente”. A cor do objeto é utilizada, nesse contexto, como critério de desambiguação para auxiliar o usuário. Por exemplo, em um determinado ambiente a cadeira preta pode estar próxima à porta de saída e uma cadeira azul próxima à mesa de jantar e ambas as cadeiras podem ser utilizadas como pontos de referência para o usuário. Ao assinalar a cor o sistema permite que o usuário tenha mais clareza sobre o seu posicionamento no ambiente. A cada nova imagem recebida pelo dispositivo móvel o ciclo se repete. A classificação dos objetos é, nesse contexto, resultante da interação entre os processos que ocorrem nos três níveis de representação do conhecimento (Figura 4.1).

Optou-se, também, por realizar a classificação do ambiente no qual o usuário se encontra. Essa funcionalidade foi adicionada para permitir o usuário remeter uma memória anterior

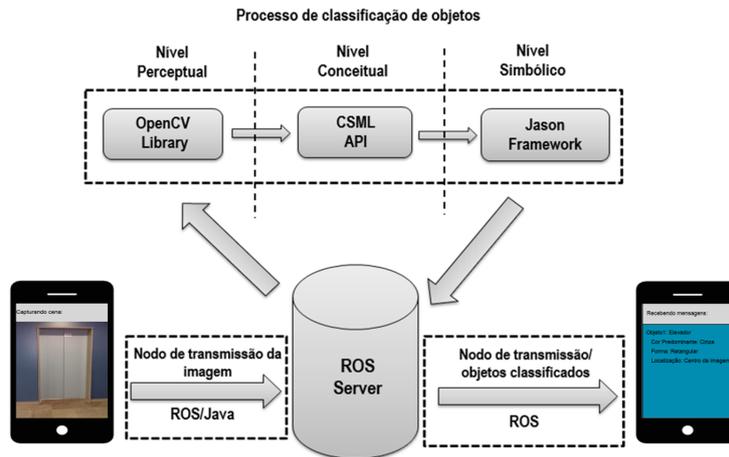


Figura 4.1 – Processo de classificação de objetos

do ambiente, se ele já o conhecer, ou criar uma nova representação mental caso o ambiente seja desconhecido. Para realizar essa classificação, estabeleceu-se uma estrutura que indexa a descrição de conceitos e as associa a descrição de um determinado ambiente. Verifica-se se os objetos classificados encontram-se nessas estruturas e seleciona-se a estrutura com o maior número de ocorrências. A classificação do ambiente ocorre somente após a classificação do último objeto da imagem. Para realizar essa tarefa, utilizou-se a seguinte estratégia: ao receber a imagem capturada pelo dispositivo móvel, o nível subconceitual do sistema, representado pelos algoritmos implementados com auxílio da biblioteca OpenCV, realiza o processo de extração de características dos objetos da imagem. Esses dados são temporariamente armazenados em um arquivo que recebe uma identificação única. Cada registro desse arquivo é composto por um identificador único do objeto, uma identificação única do arquivo e informações sobre a cor, a forma e a posição do objeto. Após obter-se informações sobre o último objeto da imagem, publica-se uma mensagem para informar o agente de que ele pode proceder com o processo de classificação. Enquanto o último objeto não for identificado, adiciona-se à mensagem que é enviada ao agente Jason a informação de que o ambiente ainda não pôde ser identificado. Quando o último objeto é identificado, realiza-se o processo de classificação e adiciona-se à mensagem a informação referente ao resultado desse processo. Quando um ambiente for classificado, o dispositivo móvel lerá para o usuário uma mensagem como: “ambiente similar à sala de jantar”.

No sistema, propõe-se realizar a classificação de objetos no espaço conceitual a partir da implementação de um nível que realiza a interface as informações processadas nos níveis perceptual e simbólico. No espaço conceitual, as características extraídas do objeto são projetadas permitindo compor vetor de pontos que indexa regiões do espaço. Esse vetor representa uma instância que precisa ser alocada em uma das regiões que representam conceitos no espaço conceitual. Para tanto, a instância é comparada com os elementos prototípicos das regiões que representam conceitos. Esses protótipos, assim como a instância, também são representados por vetores de pontos, o que torna possível calcular a distância entre os mesmos. Dessa forma, torna-se possível eleger o conceito cujo protótipo encontra-se mais próximo do vetor de pontos

que representa a instância. Se essa associação for possível, estabelece-se a classificação do objeto o que permitirá adicionar uma crença na base de conhecimento do agente Jason que assinala a existência de um determinado objeto no ambiente em que o usuário se encontra. As crenças mapeadas para o nível simbólico, permitirão ao agente organizar as informações recebidas e encaminhar para o dispositivo móvel informações sobre os elementos que foram encontrados no ambiente em que o usuário se encontra. A Figura 4.2 especifica a arquitetura proposta para estabelecer a integração do espaço conceitual ao processo de raciocínio do agente Jason.

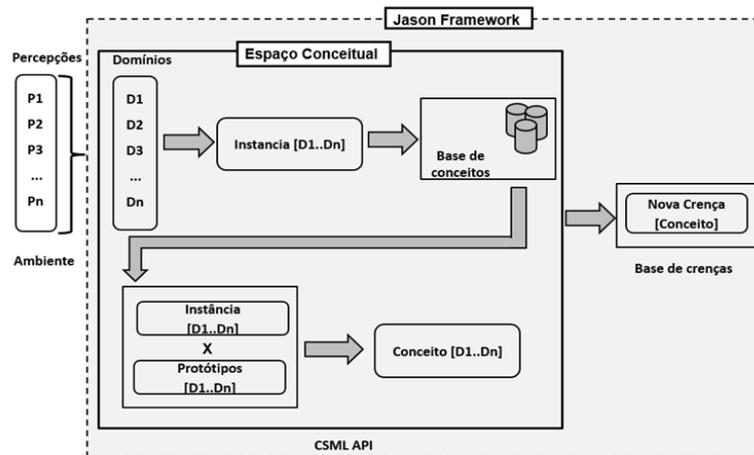


Figura 4.2 – Arquitetura de integração do espaço conceitual

Para definir o espaço conceitual que será utilizado para realizar o processo de classificação, faz-se necessária a definição dos domínios e das regiões que serão utilizados para definir a base de conceitos. O detalhamento desse processo será apresentado na próxima seção.

4.2 Definição dos domínios do espaço conceitual

Para realizar a classificação de objetos, optou-se pela especificação do espaço conceitual para as características de cor e forma. As cores são resultantes de três feixes de luz de cores diferentes que podem ser combinadas. Observou-se que a partir da combinação das cores primárias vermelho, verde e azul é possível obter a maioria das cores conhecidas. Dessa forma, as cores podem ser descritas como quantidades de valores tricromáticos, r (vermelho), g (verde), e b (azul) que resultam em um determinado tom de cor [Sug08]. Esses princípios definem o conhecido modelo RGB que pode ser representado pelo diagrama triangular no qual os vértices representam as cores primárias (Figura 4.3). Além disso, é possível observar que o triângulo pode ser particionado em regiões que representam determinadas cores. Dessa forma, é possível assinalar que o modelo RGB pode ser utilizado para representar o espaço conceitual de cores por estar em concordância com os pressupostos teóricos elencados por Gärdenfors [Gär00]. Além disso, reforça essa escolha o fato de que o modelo RGB é o padrão utilizado pelo OpenCV.

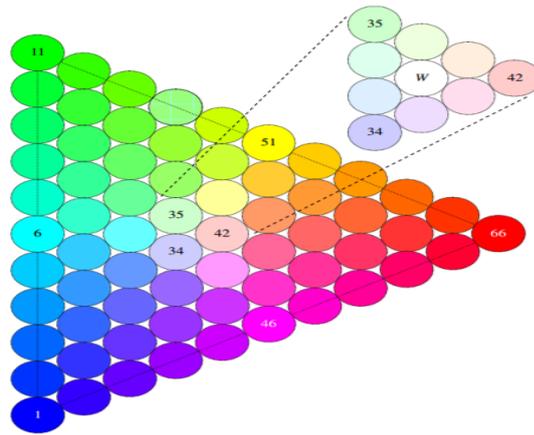


Figura 4.3 – Modelo RGB
Fonte: [Sug08]

Para especificar o espaço conceitual de forma, optou-se por utilizar *momentos invariantes*. Na área de visão computacional, um *momento* descreve um conjunto de valores que são utilizados para caracterizar formas após o processo de segmentação. Esses valores são obtidos com base na intensidade dos pixels que compõem a forma. Do conjunto de valores extraídos, é possível obter valores que são calculados com base no centroide da forma e que são invariantes. Hu [Hu62] desenvolveu a fundamentação matemática para a definição de sete descritores para formas. Esses descritores são invariantes a translação, rotação e escala e podem ser utilizados para identificar e classificar formas [FZS09]. Os momentos Hu estabelecem parâmetros para a classificação de objetos, gestos, assinaturas, texturas entre outros [PD11, BM13, VK12]. Segundo Keyes e Winstanley [KW01], os momentos Hu podem ser considerados vetores que representam pontos de um espaço multidimensional. A similaridade entre formas pode ser obtida, conforme os autores, por meio do cálculo de distância entre os pontos desses vetores. Dessa forma, se duas formas A e B produzem um conjunto de descritores D_a e D_b e a_i e b_i são os descritores desses conjuntos, então a distância entre eles pode ser obtida por $d(a_i, b_i)$. Se $d(a_i, b_i) = 0$, os elementos são idênticos. Caso contrário, os coeficientes vão estabelecer uma medida que permitirá diferenciar as duas formas. A premissa de Keyes e Winstanley reforça a premissa de que é possível utilizar os momentos Hu para especificar um espaço conceitual multidimensional para caracterizar formas de objetos. Também ratifica essa escolha o fato de que a biblioteca OpenCV disponibiliza funcionalidades para extrair momentos Hu de objetos identificados em imagens.

A definição da dimensões permitiu definir o espaço conceitual de objetos com auxílio da CSML API. Inicialmente, realizou-se a definição dos domínios cor e forma com 3 e 7 dimensões, respectivamente e após estabeleceu-se a criação das regiões do espaço para especificar os conceitos de objetos. Essas regiões representam formas e cores específicas que serão utilizadas para caracterizar os objetos do ambiente. Para criar as regiões, utilizou-se o software matemático q-hull [BDH96] com o qual a API estabelece interface. Para constituir a base de

dados, foram utilizadas diversas imagens que continham os objetos desejados. Realizou-se a segmentação dos objetos dessas imagens e posteriormente a extração de características. Os valores extraídos nesse processo permitiram estabelecer os vértices dos polítopos das regiões convexas de cor e forma que caracterizam o objeto. Por exemplo, para definir as regiões que deveriam compor o conceito “mesa”, foi necessário realizar a extração de informações de cor e forma de imagens que continham esse objeto (Figura 4.4).

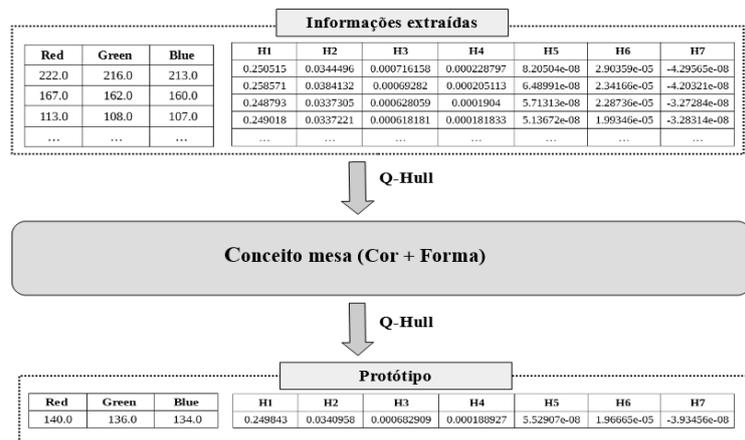


Figura 4.4 – Especificação da base de conceitos

As informações extraídas dos objetos permitiram criar as regiões convexas de cor e forma que constituem o conceito “mesa” através do q-hull. Uma vez definida as regiões que compõem o conceito torna-se possível extrair o elemento prototípico de cada região que foi posteriormente utilizado para balizar o processo de classificação. O mesmo processo foi utilizado para a especificação dos demais elementos da base de conceitos.

4.3 Espaço conceitual e os processos de classificação de características

Uma vez definida a base de conceitos, parte-se para o detalhamento do processo de classificação. Conforme assinalado anteriormente, após o processo de extração de características constitui-se uma estrutura temporária, um arquivo, que contém as informações sobre todos os objetos identificados na imagem. Quando o nível subconceitual encerra o processamento sobre uma imagem, encerra-se a construção da estrutura temporária e se realiza o encaminhamento de seu endereço para o espaço conceitual. Após inicia-se o processo de classificação Algoritmo 1 (Figura 4.5). A primeira versão desse algoritmo e sua aplicabilidade foi apresentada em [BFdBCB15b] e [BFdBCB15a]. No algoritmo, para cada registro do arquivo que será lido, inicialmente se verifica se o objeto extraído é válido. Esse processo é realizado com o auxílio do detector de característica SURF (*Speeded Up Robust Features*), descrito no próximo capítulo. Para que a validação seja possível, armazena-se no registro de cada objeto o endereço temporário da imagem do objeto identificado. Recupera-se a imagem desse endereço temporário e executa-se

o validador (linha 3). Se a imagem for inválida, o objeto é assinalado de forma correspondente (linha 5). Caso contrário, o processo de classificação é iniciado e procede-se com a extração de informações do registro que contém dados sobre o objeto identificado.

Algorithm 1 Processo de classificação de objetos

```

1: function OBJECTCLASSIFIER(Registro m)
2:   Elected  $\leftarrow$  null
3:   OK  $\leftarrow$  VerifyFrameObject(getImage(m))
4:   if not(imageState(OK)) then
5:     Elected  $\leftarrow$  NV
6:   else
7:     i  $\leftarrow$  createInstance(extractColor(m), extractShape(m))
8:     C  $\leftarrow$  getConcepts()
9:     for all c  $\in$  C do
10:      ip  $\leftarrow$  getPoints(getColorPoint(i), getShapePoint(i))
11:      cp  $\leftarrow$  getPoints(getColorCentroid(c), getShapeCentroid(c))
12:      d  $\leftarrow$  distance(ip, cp)
13:      K  $\leftarrow$  candidates(c, d)
14:    end for
15:    Elected  $\leftarrow$  ClosestConcept(K)
16:    if (getDistance(Elected) > threshold) then
17:      Elected  $\leftarrow$  NC
18:    end if
19:  end if
20:  ReturnElected
21: end function

```

Figura 4.5 – Algoritmo de classificação de objetos

O processo de classificação de objetos parte do princípio de que o objeto lido representa uma instância que deve ser associada a algum dos conceitos declarados na base de dados CSML (linha 7). Para verificar qual conceito melhor representa a instância, verifica-se sua distância em relação ao centroide de cada conceito, o que representa sua instância mais prototípica. Nesse contexto, os elementos prototípicos de cada conceito são constituídos pelo vetor de pontos que contém o centroide de cada região que o compõe. Assim, extraem-se os pontos dos centroides de cada conceito e compara-se sua distância em relação aos pontos da instância que representa o objeto lido (linhas 10 a 12). Após, armazena-se o resultado em uma estrutura temporária que contém o identificador do conceito e o valor do cálculo da distância (linha 13). Ao final, seleciona-se, dessa estrutura, o conceito associado ao menor valor de distância (linha 15). Verifica-se se esse valor encontra-se abaixo de um limite pré-estabelecido que constitui um ponto de corte (linha 16). Em caso positivo, o conceito é eleito para representar o objeto; caso contrário, o objeto será assinalado como não classificado (linha 17).

A Figura 4.6 descreve o processo de classificação de objetos. Após realizar a segmentação da imagem identificam-se os objetos presentes na mesma. No exemplo em questão, realiza-se a segmentação do tampo de uma mesa circular. Extraí-se desse objeto as informações relativas a sua cor e forma. Essas informações são utilizadas para constituir uma instância

no espaço conceitual que precisa ser associada a uma região. Para realizar essa associação, busca-se estabelecer a similaridade da instância com os protótipos dos conceitos declarados no espaço conceitual. Esse processo resulta na seleção de um conceito para representar o objeto observado. No caso, o conceito de “mesa circular”. O conceito eleito representa o elemento cujo protótipo encontra-se mais próximo da instância que representa o objeto lido.

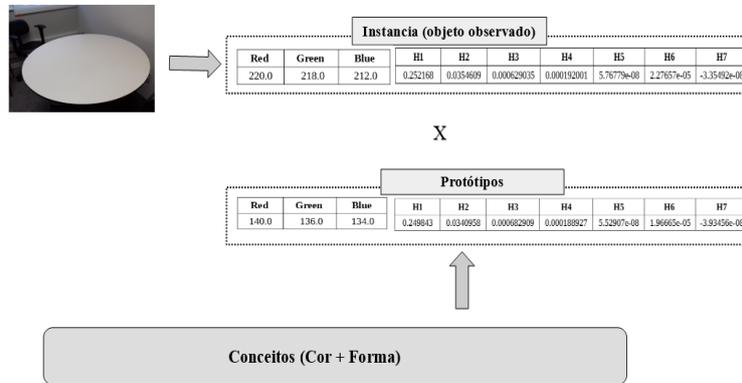


Figura 4.6 – Processo de classificação de objetos

Após a classificação do objeto, procede-se com o cálculo do posicionamento do mesmo na imagem. Inicialmente, realiza-se a divisão da imagem em três áreas que representam as posições direita, centro e esquerda (Figura 4.7). A seguir, extrai-se do objeto o momento que representa as coordenadas de seu centro de massa (*mass center*). Se as coordenadas do centro de massa do objeto encontram-se na área que representa o centro da imagem, adiciona-se a informação de que o objeto se encontra em frente. Se o centro de massa se encontra à esquerda, soma-se à coordenada x metade do tamanho do objeto e verifica-se novamente se a posição do novo ponto permanece na área que representa a esquerda ou deslocou-se para o centro da imagem. Dependendo do resultado, informa-se que o objeto se encontra à esquerda ou em frente. Se o centro de massa estiver à direita, diminui-se metade do tamanho do objeto da coordenada x e determina-se se o objeto permanece à direita ou se encontra mais próximo do centro da imagem. É importante ressaltar que mesmo que um objeto seja assinalado como “não classificado”, calcula-se seu posicionamento e envia-se essa informação para o nível simbólico do agente. Essa informação é útil para o usuário identificar eventuais obstáculos.

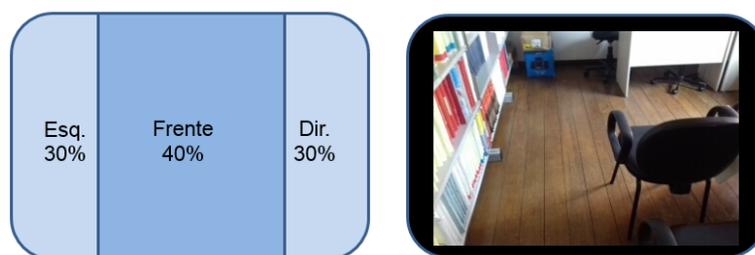


Figura 4.7 – Posicionamento de objetos

Finalmente, o último passo diz respeito ao processo de classificação do ambiente. Conforme assinalado anteriormente, esse processo ocorre após a classificação do último objeto lido na imagem. Até que esse fato ocorra, armazena-se o resultado da classificação dos demais objetos lidos em uma estrutura temporária que é reinicializada sempre que uma nova imagem é recebida. Ressalta-se que objetos não classificados não são adicionados nessa estrutura. Quando o último objeto da imagem é classificado, ele é adicionado à estrutura temporária e procede-se com a classificação do ambiente conforme descrito no Algoritmo 2 (Figura 4.8).

Algorithm 2 Processo de classificação de ambientes

```

1: function ENVIROMENTCLASSIFIER
2:   ElectedEnviroment  $\leftarrow$  null
3:   if (empty(F) then
4:     ElectedEnviroment  $\leftarrow$  ND
5:   else
6:     for all f  $\in$  F do
7:       for all e  $\in$  E do
8:         K  $\leftarrow$  getObjects(e)
9:         if (f  $\in$  K) then
10:          nid  $\leftarrow$  getEnvID(e)
11:          if contains(C, nid) then
12:            C  $\leftarrow$  buildEnv(nid, getCount + 1)
13:          else
14:            C  $\leftarrow$  buildEnv(nid, 1)
15:          end if
16:        end if
17:      end for
18:    end for
19:    ElectedEnviroment  $\leftarrow$  SelectEnviroment(C)
20:  end if
21:  ReturnElectedEnviroment
22: end function

```

Figura 4.8 – Algoritmo de classificação de ambientes

Para estabelecer o comparativo, foi criada uma base de dados na qual os ambientes são declarados em tuplas compostas de identificador único e um vetor que contém os identificadores de conceitos. Esses identificadores representam pontos de referência e não se repetem entre ambientes. Por exemplo, se o conceito “quadro” foi utilizado como um elemento para caracterizar o ambiente “sala”, ele não será utilizado em nenhum outro ambiente. Cabe ressaltar também que cada ambiente é associado a um número limitado de identificadores conceitos uma vez que estes representam pontos de referência. Neste caso, optou-se por utilizar cinco pontos de referência para cada ambiente. No primeiro passo para classificar o ambiente, verifica-se se o vetor *F*, que representa todos os objetos que foram identificados em uma mesma imagem, está vazio. Se estiver, o ambiente é imediatamente classificado como “não determinado”(linha 4). Caso contrário, procede-se com o processo de classificação. Nesse processo, passa-se a avaliar todos os elementos do vetor que deverão ser comparados aos conceitos associados a cada um

dos ambientes cadastrados na base de dados. Para estabelecer esse comparativo, recupera-se um vetor contendo os ambientes cadastrados no sistema (E) (linha 7). Para cada ambiente extrai-se um vetor de identificadores de conceitos (K) (linha 8). Após, verifica-se se o elemento f está contido em K (linha 9). Se estiver, é necessário armazenar essa informação. Para tanto, estabeleceu-se uma estrutura temporária que armazena o identificador do ambiente e um contador que armazena a ocorrência de um determinado conceito. Para tanto, recupera-se o identificador do ambiente (linha 10) e ele é armazenado juntamente com a quantidade de ocorrências na estrutura temporária. Se já houver uma ocorrência desse identificador nessa estrutura, incrementa-se um contador que controla a quantidade de ocorrências (linha 12). Se esse ambiente ainda não estiver sido cadastrado na estrutura, adiciona-se o identificador do ambiente e o valor da primeira ocorrência (linha 14). Por exemplo, se f possui o valor “quadro” e K contém esse valor, a estrutura temporária armazenará o identificador do ambiente (ex: “sala”) juntamente com a quantidade de ocorrências. Se a estrutura temporária ainda não possuir ocorrência do ambiente “sala” estabelece-se a associação desse identificador ao valor 1. Caso contrário, incrementa-se o contador. O ambiente selecionado será aquele cujo contador possuir o maior valor. Por exemplo, supondo-se que o ambiente sala seja associado a cinco identificadores de conceitos e F contenha apenas três valores que estão associados ao ambiente “sala”, o seu registro na estrutura temporária, ao final do processo será: (sala,3). Se “sala” for o ambiente cujo contador possui maior valor, este será selecionado.

Enquanto o último objeto da imagem não é identificado, envia-se para o nível simbólico do agente Jason a informação de que o ambiente ainda não foi classificado. Quando o último elemento ocorre, estabelece-se o processo de classificação e adiciona-se à mensagem a informação referente ao resultado desse processo.

4.4 Nível simbólico do agente Jason

As mensagens enviadas pelo nível conceitual são capturadas pelo agente Jason por meio do artefato Cartago e encaminhadas para o nível simbólico. As mensagens são segmentadas e organizadas para que as informações originadas do espaço conceitual possam ser transpostas como crenças do agente Jason (Figura 4.9). Conforme assinalado anteriormente, as imagens capturadas pelo dispositivo móvel são associadas a identificadores únicos que são gerados no nível subconceitual. Essa informação é útil para acompanhar a trajetória do usuário e também para controlar a adição de crenças na base do agente. Assim, nas linhas 2 e 3 realiza-se a extração desse ID da mensagem recebida pelo agente e a adição dela na base de crenças do agente. Para acompanhar a trajetória do usuário, recupera-se da base de crenças o último frame lido (linha 4) e realiza-se a associação do frame corrente com o frame lido no processo anterior (linha 5). Caso o frame corrente seja o primeiro frame lido, o valor recuperado será “first”. Na última linha, dispara-se um plano que verificará se a mensagem traz informações

sobre um objeto que foi classificado ou não (linha 5). Após, extrai-se a informação e dispara-se o plano que verifica se o objeto lido é o último do frame (linhas 8 e 9).

```

1: +chatter (A)
2: <- myp.getObjectFrame(A,F);
3:   +frame(F);
4:   ?lastFrame(K);
5:   +hasPreviousFrame(F,K);
6:   myp.getObjectConcept(A,C);
7:   !verify_concept(A,C);
8:   myp.getHT(A,H);
9:   !readall(A,H).

```

Figura 4.9 – Processando mensagens do espaço conceitual

Se o objeto foi identificado como não classificado, o agente publica uma mensagem informando que um objeto não identificado foi encontrado e informa o posicionamento. Se o objeto foi classificado no espaço conceitual, a mensagem trará a descrição do objeto, caso contrário trará a informação de que o objeto não foi classificado. Se a classificação ocorreu, o plano apresentado no Figura 4.10 é acionado.

```

1: +!verify_concept(A,C): not(C=="NC")
2: <-
3:   myp.getObjectFrame(A,F);
4:   myp.getObjectFrameID(A,I);
5:   myp.getObjectConcept(A,C);
6:   myp.getObjectPosition(A,P);
7:   +object(I);
8:   +hasObject(F,I);
9:   +hasConcept(I,C);
10:  +hasPosition(I,P);

```

Figura 4.10 – Verificação da validade do conceito

Se o conceito foi classificado, deve ser adicionado à base de crenças do agente. Inicialmente, extrai-se da mensagem: o identificador do frame (F), o identificador do objeto no frame (I), o conceito associado ao objeto (C) e sua posição (P) como pode-se observar nas linhas 3 a 6 do plano. Após, adiciona-se o objeto na base de crenças e estabelecem-se as relações: o identificador do objeto (I) é associado ao frame (linha 8), ao conceito (linha 9) e ao seu posicionamento no frame (linha 10).

Após adicionar o objeto à base de crenças, o agente deve verificar se ele é o último objeto do frame. Para tanto, extrai-se da mensagem enviada a informação correspondente e dispara-se o plano !readall para verificar se o objeto lido é o último (linhas 8 e 9 da Figura 4.9). Se o objeto lido for o último, é possível verificar se a classificação do ambiente foi efetivada (Figura 4.11). Assim, extrai-se da mensagem a identificação do ambiente (linha 2) e verifica-se se a classificação foi possível (linha 3).

```

1: +!readall(A,H): H=="last"
2: <- myp.getEnviroment(A,E);
3:     !verify_enviroment(A,E);

```

Figura 4.11 – Verificação do ambiente

Assim como ocorre com o conceito, a classificação do ambiente pode ocorrer ou não. Caso a classificação não seja possível, o ambiente é assinalado como “não determinado”. Porém, se a classificação se efetivar, o plano listado no Figura 4.12 é acionado. No início do plano, extrai-se o identificador do frame (F) e atualiza-se a crença de que este é o último frame lido. Na segunda linha, estabelece-se a relação entre o identificador e a descrição do ambiente (E). Após inicia-se o processo de publicação das mensagens que serão lidas pelo dispositivo móvel. Para facilitar o entendimento do usuário, optou-se por organizar as mensagens em relação ao posicionamento dos objetos no frame. Dessa forma, na linha 5, inicialmente se recuperam para uma lista todos os objetos associados ao frame corrente e que se encontram à esquerda. Se essa lista não estiver vazia, itera-se sobre ela para recuperar todos os objetos que satisfazem essa condição. Para cada objeto da lista recuperam-se o identificador do conceito (linha 8) e uma descrição intuitiva para ele (linha 9). Finalmente, compõe-se a mensagem que deverá ser publicada (linha 10). Repete-se o processo para os objetos que se encontram à frente e à direita.

```

1: +!verify_enviroment(A,E): not(E=="ND")
2: <- myp.getObjectFrame(A,F);
3:     +-lastFrame(F);
4:     +hasSimilarity(F,E);
5:     .findall(Id1,hasObject(F,Id1)& hasPosition(Id1,Pos1)& Pos1=="
    esquerda",I);
6:     if ( .length(I,Tam1) & Tam1 > 0) {
7:         for ( .member(Oid1,I) ) {
8:             ?hasConcept(Oid1,Con1);
9:             myp.getDescription(Con1,Desc);
10:            .concat("Objeto encontrado: ",Desc,"posicao: a esquerda",
    Msg2);
11:            pub(Msg2);
12:            .wait(500);
13:        }
14:    }
15:    ...
16:    .concat("Local similar a ",E,Msg1);
17:    pub(Msg1);

```

Figura 4.12 – Envio de mensagens para o dispositivo móvel

Ao final desse processo, uma última mensagem é composta para enviar ao usuário o resultado do processo de classificação do ambiente (linha 16).

4.5 Conclusão

Este capítulo buscou apresentar a integração do espaço conceitual ao nível simbólico do agente Jason. Neste capítulo, detalham-se os mecanismos criados para realizar o processamento dos dados extraídos de objetos identificados nas imagens captadas pelo dispositivo móvel do usuário e o envio destes para o espaço conceitual no qual são realizados os processos de classificação de objetos. A classificação dos objetos inicia-se a partir da projeção dos dados captados no espaço conceitual constituindo-se, assim, um vetor de pontos que representa uma instância. Busca-se então alocar essa instância na região do espaço considerada mais adequada. Calcula-se a distância do centroide dessas regiões em relação à instância e ela é classificada com base no menor valor encontrado. Além disso, a posição do objeto na imagem também é calculada. A classificação dos objetos permite realizar a classificação do ambiente em si. Partindo-se do princípio de que os objetos cadastrados no sistema podem ser pontos de referência para o deficiente visual, avalia-se a quantidade de pontos de referência encontrados ao final do processamento de cada imagem. Essas informações são enviadas ao nível simbólico do agente Jason e adicionadas como crenças. Ao final da leitura de cada imagem as crenças são recuperadas e as informações sobre os objetos encontrados, seu posicionamento e a classificação do ambiente são enviadas para o usuário, visando auxiliá-lo na construção de seu mapa mental. Os resultados desse processo serão apresentados nos capítulos a seguir.

5. TECNOLOGIAS UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Os capítulos anteriores estabeleceram as bases teóricas para o desenvolvimento do sistema para auxiliar deficientes visuais. O presente capítulo versa sobre as tecnologias utilizadas em seu desenvolvimento. O capítulo se inicia com a apresentação da arquitetura do sistema e segue com a apresentação das tecnologias. As tecnologias são apresentadas de acordo com o papel que desempenham nos níveis que compõem o processo de reconhecimento de objetos.

5.1 Operação e Organização do sistema

Visando manter a facilidade de uso do sistema e preservar a robustez do processo de classificação de objetos, optou-se por organizar o sistema em dois módulos. O Módulo do Usuário compreende um aplicativo instalado em um *smartphone*, que é responsável por realizar a captura e a transmissão de imagens para um servidor. O uso de um dispositivo móvel para captura de imagens objetiva facilitar a aceitação do sistema pelo usuário, uma vez que esse instrumento muitas vezes pode já fazer parte do cotidiano do usuário cego. Para fazer uso do aplicativo, o usuário direciona a câmera do dispositivo para o local de que deseja obter informações. O usuário permanece na mesma direção até que o aplicativo envie uma mensagem correspondente aos objetos encontrados (Figura 5.1).

No servidor, encontra-se o segundo módulo do sistema, denominado Módulo do Sistema Inteligente, que é responsável pelo processo de classificação dos objetos identificados em imagens e pelo envio de mensagens para o dispositivo móvel que assinalam o resultado desse processo. Essa mensagem é reproduzida pela interface sonora do dispositivo móvel. Juntamente com a mensagem, é emitida uma vibração pelo aparelho que serve para reforçar o alerta de que um novo objeto foi encontrado. Esse processo ocorre mesmo quando a classificação de um determinado objeto não é possível. Nesse caso, reproduz-se a mensagem de que um objeto não identificado foi encontrado.



Figura 5.1 – Uso do sistema pelo usuário

O sistema realiza um ciclo contínuo de captura e reconhecimento até que o usuário esteja satisfeito com as informações coletadas do ambiente (Figura 5.2).

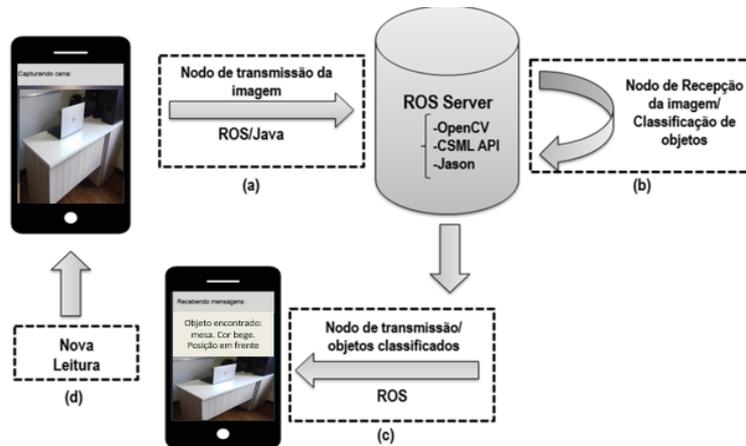


Figura 5.2 – Ciclo do sistema

Após a captura da imagem realizada pela câmera do dispositivo móvel, realiza-se sua transmissão para o servidor no qual é disparado o processo que resulta na classificação do objeto. Esse processo compreende três níveis de representação. No nível perceptual, realiza-se o processo de extração de características. Com auxílio da biblioteca OpenCV [H⁺] realiza-se a segmentação da imagem e a extração de dados dos objetos nela identificados. Os dados extraídos são encaminhados para o nível conceitual, que é responsável pela projeção desses dados no espaço conceitual e pelo processo de classificação. Após, as informações resultantes do processo de classificação são encaminhadas ao agente Jason, que organiza e envia as mensagens correspondentes para o dispositivo móvel que as reproduz para o usuário. O ciclo se repete enquanto o usuário estiver fazendo uso do sistema.

5.2 Conexão entre os módulos do sistema

A interface entre os módulos do sistema ocorre por meio do sistema operacional ROS (*Robot Operational System*) [QCG⁺09]. O ROS é um *framework* que proporciona uma camada de abstração de hardware e serviços que auxiliam no desenvolvimento de aplicações voltadas para a robótica. Além de possuir o suporte necessário para o desenvolvimento da aplicação nos moldes propostos, o *framework* também estabelece as bases para uma futura portabilidade do sistema para uso em robôs, que poderiam guiar pessoas cegas durante seu deslocamento. As aplicações desenvolvidas para esse sistema operacional se sustentam sobre quatro conceitos fundamentais: nodos, mensagens, tópicos e serviços. Nodos simbolizam processos que realizam computações. Esses processos se comunicam entre si através de mensagens que são trocadas por meio de tópicos. O nodo que deseja enviar uma mensagem para outro nodo deve efetivar sua publicação em um tópico específico. O nodo que deseja ler uma mensagem publicada por outro nodo deve

acessar o tópicos que deverá conter a mensagem desejada. Para tanto, devem-se constituir em cada nodo métodos para publicar (*publishers*) e subscrever (*subscribers*) mensagens. No ROS, todos os nodos são gerenciados por um serviço especial denominado ROS Master, que é responsável por localizar e permitir a troca de mensagens entre nodos. Cabe ressaltar que essas mensagens podem ser constituídas por textos ou imagens.

No Módulo do Usuário, foram implementados dois nodos: o primeiro é responsável pela transmissão das imagens captadas pelo dispositivo móvel, e o segundo pela leitura das mensagens que serão publicadas pelo servidor ROS. A implementação dos nodos em Java foi realizada por meio da biblioteca ROSJava [S⁺a, S⁺b]. A biblioteca disponibiliza uma série de componentes customizados que podem realizar a troca de informações entre nodos do ROS e que podem ser utilizados na plataforma Android. A Figura 5.3 apresenta um trecho de código que demonstra a configuração dos nodos no dispositivo Android:

```

1: NodeConfiguration nodeConfiguration =
        NodeConfiguration.newPublic(localNetworkAddress.
        getHostAddress(), getMasterUri());
2: nodeMainExecutor.execute(rosTextView, nodeConfiguration);
3: nodeMainExecutor.execute(rosCameraPreviewView, nodeConfiguration);

```

Figura 5.3 – Configuração dos nodos ROS Android

Na linha 1, observa-se uma configuração de rede que realizará o mapeamento do servidor ROS com o qual os nodos do aplicativo deverão trocar mensagens. Nas linhas 2 e 3, observa-se o uso dos componentes: o componente `rosCameraPreviewView` publicará em um nodo específico imagens capturadas pela câmera do dispositivo móvel. Essa mensagem será lida pelo servidor ROS, dando início ao processo de classificação dos objetos percebidos no ambiente. O componente `rosTextView`, por sua vez, exibirá as mensagens resultantes do processo de classificação realizado no servidor.

Essas mensagens deverão ser fornecidas para o usuário cego; para tanto, realiza-se sua leitura através de uma funcionalidade implementada por meio da biblioteca Text-To-Speech declarada na linha 4 da Figura 5.4. Juntamente com a mensagem, implementou-se o recurso de vibração para alertar o usuário sobre o recebimento de novas mensagens (linhas 2 e 3).

```

1: String text = (String) message.getData();
2: v = (Vibrator) getSystemService(VIBRATOR_SERVICE);
3: v.vibrate(400);
4: speak(text);

```

Figura 5.4 – Leitura das mensagens para o usuário

O Módulo do Sistema Inteligente é responsável por processar as imagens recebidas pelo dispositivo móvel. Esse processamento se inicia no momento em que a imagem capturada

pelo dispositivo móvel é lida pelo servidor ROS. A primeira linha da Figura 5.5 apresenta a especificação do *subscriber* que realiza essa tarefa. Nessa linha, pode-se observar também a especificação do *Image Transport* que é o protocolo utilizado pelo ROS para gerenciar a transmissão das imagens [W⁺]. Observa-se também nessa linha a instrução *TransportHints("compressed")* que indica que a imagem que será transmitida está comprimida. A compressão de imagens é indicada, uma vez que a troca de mensagens será realizada pela rede sem fio. A compressão das imagens é especificada no componente *rosCameraPreviewView* a partir da conversão delas para o formato JPEG. No momento da conversão, é possível especificar o nível de compressão desejado. O nível de compressão varia de 0 a 100, sendo que 100 garante o máximo de qualidade da imagem comprimida [Dev]. Esta última foi a opção utilizada no sistema, uma vez que a qualidade da imagem capturada influencia diretamente no processo de extração de características. A segunda linha da Figura 5.5, por fim, apresenta a especificação do *publisher* responsável por realizar a transmissão de mensagens para o agente Jason.

```

1: image_sub_ = it_.subscribe("/camera/image/", 1,
    &ImageConverter::imageCb, this,
    image_transport::TransportHints("compressed"));
2: chatter_pub = nh_.advertise<std_msgs::String>("chatter", 1000);

```

Figura 5.5 – ROS: *publishers* e *subscribers*

Na linha 1 da Figura 5.5, ainda é possível observar a chamada função *imageCb*, que é responsável pelo processo de extração de características. Esse processo é realizado com auxílio da biblioteca OpenCV que será apresentada a seguir.

5.3 Nível subconceitual do sistema

O nível perceptual opera sobre dados brutos. Para diferenciá-lo dos demais níveis e ao mesmo tempo demonstrar a sua relação com eles, Gärdenfors opta por caracterizar esse nível como subconceitual. No sistema o nível subconceitual é representado pelo processo de extração de características que é realizado com auxílio da biblioteca gráfica OpenCV [H⁺]. O módulo de visão computacional do ROS possibilita a interface nativa com a OpenCV. As imagens recebidas na forma de mensagens são convertidas em estruturas matriciais e entregues à biblioteca, que realiza o processamento da imagem. A Figura 5.6 apresenta trechos do código e extração de características. Cabe ressaltar que o código foi implementado em C ++. As linhas 1-5 especificam a etapa inicial que resulta na extração de contornos. Para realizar a identificação de contornos, inicialmente se realiza a conversão da imagem colorida em uma imagem em tons de cinza (linha 2). Na sequência, aplica-se um filtro para desfocar a imagem cuja função é reduzir seus ruídos (linha 3). *Thresholding* é a técnica utilizada para realizar a segmentação da imagem a partir da seleção de um conjunto de pixels cujas intensidades encontram-se acima de um limite pré-estabelecido. O processo de *Thresholding* é bastante suscetível às condições de

iluminação do ambiente. Para superar esses problemas, a biblioteca OpenCV implementa uma função *adaptive thresholding* (linha 4) que permite aplicar diferentes valores de *thresholding* em diferentes regiões da imagem, o que pode resultar em uma melhor segmentação da imagem. As linhas 5 e 6 apresentam as operações morfológicas sobre os segmentos extraídos da imagem, objetivando corrigir eventuais falhas entre pixels de um mesmo segmento. Finalmente, na linha 7 estabelece-se o vetor de contornos que é resultante desse processo.

```

1: ...
2: cvtColor( color_image, gray_image, CV_BGR2GRAY );
3: GaussianBlur( gray_image, gray_image, Size(3,3),0,0);
4: adaptiveThreshold(gray_image, output,255,
                    ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C, CV_THRESH_BINARY
                    ,15,-2);
5: dilate(output, output, element1);
6: cv::morphologyEx( output, output, cv::MORPH_CLOSE, element );
7: findContours( output, contours, hierarchy, CV_RETR_TREE,
                CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE, Point(0, 0));
8: ...
9: cv::Moments mom1 = cv::moments(contours[i]);
10: cv::HuMoments(mom1, hu);
11: ...
12: Rect R=boundingRect(contours[i]);
13: ...
14: ROI=image(R);
15: cv::Scalar mean = cv::mean(ROI);

```

Figura 5.6 – OpenCV: Extração de características

A partir desse ponto, é possível iterar sobre o vetor de contornos para realizar a extração de informações. Para evitar distorções no processo de classificação, optou-se por descartar contornos muito pequenos. Para realizar esse filtro, realiza-se o cálculo da área do contorno e se verifica se eles se encontram acima de um ponto de corte pré-definido. Se estiverem, procede-se o processo de extração de características.

Para realizar o processo de classificação, optou-se por criar os domínios de cor e forma no espaço conceitual. Para especificar a cor do objeto, optou-se por extrair sua cor predominante (linhas 12 a 14). Inicialmente, realiza-se a especificação da região de interesse (*ROI - Region of interest*), ou seja, a área retangular que abrange o contorno desejado. Após realiza-se a segmentação dessa área, a que é atribuída uma matriz temporária (linha 13) e, por fim, calcula-se a cor predominante dessa matriz temporária (linha 14). No espaço conceitual, o domínio cor foi especificado no padrão RGB. A biblioteca OpenCV possui suporte para vários modelos de cores (HSV, YCrCb, etc), porém esse suporte representa a conversão de imagens RGB para outros modelos. Nesse sentido, optou-se pelo modelo de cores nativo da biblioteca para realizar a especificação do domínio cor. O domínio forma foi especificado por meio dos momentos invariantes especificados por Hu [Hu62]. Os momentos invariantes de Hu representam um conjunto de sete parâmetros insensíveis a translação, rotação, escala e espelhamento e que

podem ser utilizados para caracterizar a forma dos objetos identificados. Nesta fase, também se busca parâmetros para auxiliar na determinação da posição do objeto na imagem. Esse objetivo é atingido por meio da extração das coordenadas do momento que representa o centro de massa do contorno.

5.3.1 SURF - Speeded Up Robust Features

O detector de características SURF (*Speeded Up Robust Features*) é utilizado na área de visão computacional, para realizar tarefas de classificação e reconhecimento de objetos. O algoritmo utilizado pelo SURF se caracteriza por realizar o reconhecimento de pontos de interesse para determinar a similaridade entre objetos correspondentes em imagens. O SURF não foi utilizado neste trabalho para realizar a classificação de objetos, porém seu algoritmo foi útil para detectar imagens inválidas. Em uma fase anterior ao processo de classificação, o SURF foi utilizado para realizar a extração de pontos de interesse da imagem capturada. Conforme descrito anteriormente, o processo de captura de imagens se inicia quando o usuário aciona o aplicativo e passa a explorar o ambiente em que se encontra. Como a câmera se encontra em movimento, é comum a captura de imagens borradas ou sem a presença de nenhum objeto (o usuário em um dado momento pode estar apontando o dispositivo móvel para uma parede ou para um objeto muito próximo em que não é possível detectar as bordas). Para evitar o processamento desnecessário dessas imagens, a função apresentada na Figura 5.7 foi implementada. Ela é responsável por realizar o pré-processamento da imagem capturada.

```

1: boolean ok = true;
2: Mat objectImage = Highgui.imread(bookObject, Highgui.CV_LOAD_IMAGE_COLOR
   );
3: FeatureDetector featureDetector = FeatureDetector.create(FeatureDetector
   .SURF);
4: DescriptorExtractor descriptorExtractor = DescriptorExtractor.create(
   DescriptorExtractor.SURF);
5: MatOfKeyPoint objectKeyPoints = new MatOfKeyPoint();
6: MatOfKeyPoint objectDescriptors = new MatOfKeyPoint();
7: featureDetector.detect(objectImage, objectKeyPoints);
8: descriptorExtractor.compute(objectImage, objectKeyPoints,
   objectDescriptors);
9: if (objectDescriptors.empty()){
10:     ok = false;
11: }else{
12:     Double h = objectDescriptors.size().height;
13:     Double w = objectDescriptors.size().width;
14:     if ((h==1.0 && w==1.0)){
15:         ok = false;
16:     }
17: }
18: return ok;

```

Figura 5.7 – SURF: Detecção de frames inválidos

A linha 1 apresenta a variável booleana de controle. Nas linhas 2 e 3, declaram-se o detector de características que será utilizado para encontrar pontos de interesse e o extrator de descritores que computa os pontos de interesse encontrados na imagem. Nas linhas 4 e 5, declaram-se as matrizes que armazenaram as informações extraídas da imagem, e nas linhas 7 e 8 está a computação dos pontos de interesse e seus respectivos descritores. Nas linhas seguintes, estabelece-se o filtro para a detecção de imagens inválidas. Se a matriz de descritores estiver vazia (linha 9) ou possuir apenas um elemento (linha 14), a imagem é assinalada como inválida. Caso contrário, o processo de classificação prossegue normalmente.

5.4 Nível conceitual do sistema

A especificação do nível conceitual foi realizada por meio da CSML API. A CSML (*Conceptual Space Markup Language*) é uma linguagem de marcação baseada em XML que se propõe a estabelecer a representação de informações com base nos pressupostos da teoria dos espaços conceituais e na álgebra de Adams e Raubal [AR09a, RA10]. Os conceitos são representados por politopos convexos, nos quais um conjunto de pontos e instâncias prototípicas pode ser definido. As operações de similaridade, da mesma forma, são definidas através da função de distância de acordo com o modelo matemático proposto pelos autores.

Um documento CSML estabelece uma representação hierárquica dos elementos do espaço conceitual. No nível mais alto dessa hierarquia se encontram as representações de domínios, conceitos, classes contrastantes, instâncias e contextos seguidos por elementos derivados dessas representações. A Figura 5.8 apresenta a especificação de domínios, instâncias e conceitos em CSML. Nesse exemplo, é possível observar a definição da estrutura do domínio cor no padrão RGB (a), a especificação de uma instância (b) e a definição de um conceito (c). A instância é definida por pontos dos domínios forma e cor e o conceito por regiões destes domínios.

Em CSML, domínios são formados por dimensões de qualidade cujas URIs são indicadas pelo elemento `<csml:QualityDimension>`. A partir dessa *tag*, é possível indicar a escala (`<csml:Scale>`), as unidades utilizadas (`<csml:Units>`), o intervalo (`<csml:Range>`) e ainda especificar se a dimensão é circular ou não (`<csml:Circular>`).

O elemento `<csml:Concept>` é utilizado para especificar as propriedades e os conceitos (Figura 5.8 (c)). Conceitos são definidos por meio de regiões formadas por politopos convexos. Um politopo convexo é representado pela matriz $Aq \leq b$. Essa estrutura é definida através das tags: `<csml:AMatrix>`, `<csml:qVector>` e `<csml:bVector>`. Cada linha da matriz é definida através da tag `<matrixrow>` e seus valores através da tag `<cn>`. O vetor q é utilizado para associar às colunas da matriz A as respectivas dimensões de qualidade. O vetor q utiliza a tag `<ci>` que assinala a URI de cada dimensão de qualidade. O vetor b , por fim, é definido de

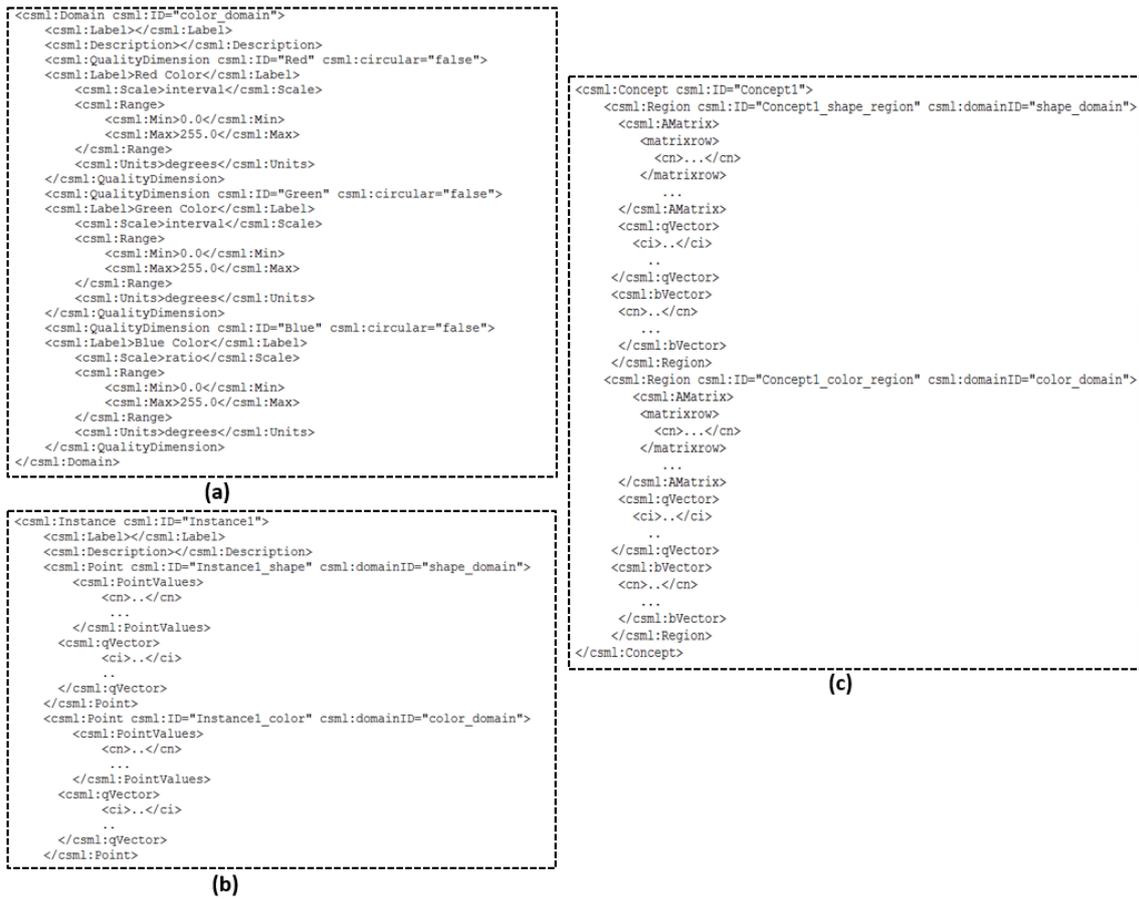


Figura 5.8 – Definição domínios, conceitos e instâncias

forma semelhante, utilizando a tag `<cn>`. A Figura 5.8 (b) traz um exemplo de definição de instância cujos pontos são assinalados pela tag `<csml:Point>`.

Juntamente à especificação da linguagem, os autores desenvolveram uma API para criar, comparar, manipular e validar conteúdo CSML com o auxílio de um reasoner. Por meio do reasoner, é possível realizar cálculos de distância entre vetores de pontos e criar regiões convexas a partir da interface do software matemático qhull [BDH96].

5.5 Nível simbólico do sistema

O nível simbólico é representado pelo *framework* Jason. Desenvolvido em Java e disponibilizado sob a licença GNU LGPL, o *framework* Jason permite especificar crenças, desejos e intenções em agentes AgentSpeak [BHW07]. A plataforma foi desenvolvida com base em uma versão estendida dessa linguagem, que incorpora o suporte à comunicação de interagentes por meio de performativas baseadas na teoria dos atos de fala (*speech acts*) [MVB03].

Além do suporte à sintaxe básica da linguagem AgentSpeak, o Jason possui suporte a funcionalidades adicionais, tais como o uso de anotações em crenças e planos, incorporação de funções desenvolvidas em Java através de ações internas (*internal actions*), uma classe para

especificação do ambiente em que o agente está inserido e a possibilidade de customização de funcionalidades da arquitetura do agente. No que tange às crenças, as anotações permitem especificar suas origens, ou seja, identificar se elas são provenientes de uma percepção, de um processo de interação com outro agente ou se foram geradas de forma reflexiva pelo próprio agente. Além disso, as anotações podem especificar a associação de estrutura externa de dados a uma crença. Klapiskak e Bordini [KB08], por exemplo, demonstraram como realizar a associação de crenças a estruturas ontológicas.

Outra característica importante diz respeito à flexibilidade do interpretador, que permite que determinadas funcionalidades sejam sobrescritas ou incorporadas a fim de permitir que novos recursos sejam adicionados ao ciclo de raciocínio do agente. Por exemplo, no sistema desenvolvido as mensagens publicadas precisam ser “ouvidas” pelo agente Jason. Para realizar esse processo, integrou-se ao sistema o artefato Jason-ROS [M⁺]. Trata-se de um artefato desenvolvido sobre a plataforma CArtAgO [RVO06] e com auxílio da biblioteca ROSJava. O CArtAgO (*Common ARTifact infrastructure for AGents Open environments*) é um *framework* integrado à plataforma Jason que permite realizar a especificação de ambientes virtuais compostos por objetos que são especificados como artefatos. Os artefatos CArtAgO permitem criar uma interface de operação que permite ao agente interagir com o ambiente que no contexto dessa aplicação é representado pelo ROS. O artefato Jason-ROS permite ler mensagens armazenadas em nodos ROS. Para proporcionar o envio de mensagens para o dispositivo móvel, o artefato foi estendido para permitir também a publicação de mensagens. As mensagens percebidas pelo artefato são imediatamente enviadas ao espaço conceitual, que procede com o processo de classificação. As informações resultantes desse processo são concatenadas em um novo vetor de informações que é enviado para o nível simbólico do agente Jason. Após processar essas mensagens, o agente, por meio de uma ação interna, realiza a publicação delas.

5.6 Considerações finais

Neste capítulo, buscou-se ratificar a importância das tecnologias utilizadas para estabelecer os alicerces do sistema desenvolvido. O ROS e a biblioteca gráfica OpenCV estabeleceram todo o aporte necessário para a construção dos alicerces que viabilizam a comunicação entre os módulos do sistema e o processo de extração de informações. O sucesso do processo de classificação em muito se deve à pré-avaliação das imagens, que ocorre na fase anterior. Observou-se a necessidade de se estabelecer limites com relação ao tamanho dos objetos que serão encaminhados para o processo de classificação. O fato de a câmera do dispositivo móvel encontrar-se em constante movimento enquanto o usuário faz uso do sistema ratificou a necessidade de se estabelecer uma avaliação prévia das imagens transmitidas pelo dispositivo móvel no intuito de evitar processamentos desnecessários no processo de classificação, assim como descartar imagens inválidas. O capítulo também apresentou a linguagem de marcação CSML. Baseada em um modelo algébrico desenvolvido por Adams e Raubal, a CSML permite representar regiões

do espaço conceitual através de politopos. A linguagem conta com uma API que permite processar e realizar operações sobre o conteúdo de documentos CSML. Por fim, apresentou-se o *framework* Jason, a partir do qual foi possível realizar a especificação do agente utilizado no sistema.

6. AVALIAÇÃO DO SISTEMA E COMPARATIVO COM OUTRAS ABORDAGENS

Este capítulo apresenta a avaliação do protótipo que foi desenvolvido. Foram realizados dois experimentos com usuários cegos que avaliaram a usabilidade do protótipo. Por meio desses experimentos também avaliou-se o classificador implementado através de espaços conceituais e estabeleceu-se o comparativo com o uso de histogramas. Este capítulo também apresenta uma avaliação das vantagens e desvantagens dos espaços conceituais em relação a outras abordagens não-simbólicas.

6.1 Experimentos de avaliação do sistema: materiais e métodos

Para realizar a avaliação do sistema, foram feitos dois experimentos em dois locais e com usuários distintos. O primeiro foi a Faculdade de Informática (FACIN) da PUCRS e o segundo na APACE (Associação Passofundense de Cegos). Antes de realizar o experimento, foi necessário realizar o cadastramento prévio dos objetos presentes nestes ambientes para criar a base de conceitos que foi utilizada no processo de avaliação. Os testes preliminares permitiram observar que como o usuário se movimenta constantemente durante o processo de reconhecimento, em alguns casos a câmera do dispositivo móvel captura apenas uma parte de um determinado objeto. Uma cadeira, por exemplo, pode ser capturada completamente obtendo-se toda a forma do seu contorno ou parcialmente quando é obtida apenas a forma do seu espaldar. Assim, em alguns casos optou-se por adicionar alguns conceitos de partes de objetos associando-os descrição que refere-se ao seu todo. Também foi adicionada a base de conhecimento conceitos que assinalam um mesmo objeto em diferentes posições (Figura 6.1).

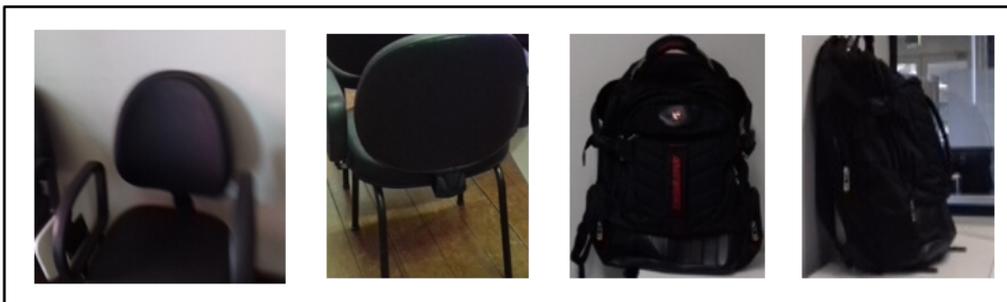


Figura 6.1 – Exemplos de objetos cadastrados

Para estabelecer um comparativo com o processo de classificação realizado por meio dos espaços conceituais, adicionou-se ao sistema, no segundo experimento, uma funcionalidade que permitiu classificar objetos por meio do uso de histogramas.

Essa funcionalidade não interfere no processo de classificação, apenas gera dados para estabelecer o comparativo entre as abordagens. Para realizar esse comparativo, estabeleceu-

Algorithm 3 Processo de classificação de objetos

```

1 : function OBJECTCLASSIFIER(Registro m)
2 :   ...
3 :   OK  $\leftarrow$  VerifyFrameObject(image(contour))
4 :   if not(imageState(OK)) then
5 :     Elected  $\leftarrow$  NV
6 :   else
7 :     frimg  $\leftarrow$  (extractImage(m), extractLBPIImage(m))
8 :     ...
9 :     C  $\leftarrow$  getConcepts()
10 :    for all c  $\in$  C do
11 :      cimg  $\leftarrow$  (getdbImage(c), getLBPIImage(c))
12 :      dh  $\leftarrow$  CalcHistDistance(frimg, cimg)
13 :      ...
14 :      L  $\leftarrow$  histCandidates(c, dh)
15 :    end for
16 :    Elected  $\leftarrow$  ClosestConcept(K)
17 :    ElectedHist  $\leftarrow$  ClosestConcept(L)
18 :    if (distance(Elected) > threshold) then
19 :      Elected  $\leftarrow$  NC
20 :    end if
21 :  end if
22 :  ReturnElected
23 : end function

```

Figura 6.2 – Seleção de conceito candidato

se uma base de imagens com os objetos que se desejava classificar e estabeleceu-se o vínculo com os conceitos declarados do espaço conceitual. Em uma estrutura própria, associou-se o identificador de cada conceito a uma imagem de objeto. Dessa forma, quando o processo de classificação for iniciado e um conceito for avaliado em relação à instância que está sendo lida, realiza-se também a comparação dos histogramas das respectivas imagens. A adição dessa funcionalidade pode ser observada no Algoritmo 3 (Figura 6.2). Na linha 7 realiza-se a recuperação da imagem associada à instância que está sendo avaliada. Na linha 11, recuperam-se a imagem associada ao conceito que está sendo avaliado. Procede-se com a comparação dos histogramas extraídos das imagens que representam a instância e o conceito (linha 12) e armazena-se o resultado em uma estrutura de dados (linha 14). Ao final, recupera-se o conceito cujo cálculo de histogramas resultou no menor valor de distância (linha 17).

A similaridade entre histogramas é obtida por meio de funções de distância, como pode-se observar no Algoritmo 4 (Figura 6.3). Inicialmente extraem-se valores dos pixels correspondentes de ambas as imagens e estabelece-se a comparação da distância entre ambos. A biblioteca OpenCV já possui funcionalidades que realizam essa comparação. Optou-se por comparar histogramas de cor e textura dos objetos. Para realizar a comparação de cores, extraem-se

de cada pixel valores dos canais RGB. Criam-se três matrizes distintas para cada um dos canais e estabelece-se o cálculo de distância das matrizes correspondentes. Para realizar o cálculo de textura, o processo é semelhante ao anterior, porém utiliza-se apenas um canal em tons de cinza (linhas 5, 6 e 7 respectivamente). Para realizar o cálculo da textura, realizou-se a conversão da imagem para o padrão LBP (*Local Binary Patterns*) [Tea]. O cálculo comparativo de histogramas de cor e textura é apresentado nas linhas 2, 3 e 4 do Algoritmo 4. Após retorna-se o valor do somatório das distâncias obtidas em ambos os processos (linha8).

De forma análoga ao que ocorre com o espaço conceitual, armazenam-se em uma estrutura temporária o identificador do conceito e o somatório das distâncias resultantes da comparação dos histogramas. O conceito com menor distância é eleito. Assim, ao final do processo de classificação haverá um conceito eleito por meio do espaço conceitual e outro por meio do comparativo de histogramas.

Algorithm 4 Classificação de Histogramas

```

1: function CALHISTDISTANCE(frimg,frlbp,cimg,clbp)
2:    $HC1 \leftarrow calcHist(RedChannel(frimg), GreenChannel(frimg), Bluechannel(frimg))$ 
3:    $HI1 \leftarrow calcHist(RedChannel(cimg), GreenChannel(cimg), Bluechannel(cimg))$ 
4:    $d1 \leftarrow calcDist(HC1, HI1)$ 
5:    $HC2 \leftarrow calcHist(GrayChannel(frlbp))$ 
6:    $HL2 \leftarrow calcHist(GrayChannel(clbp))$ 
7:    $d2 \leftarrow calcDist(HC2, HI2)$ 
8:   Return( $d1 + d2$ )
9: end function

```

Figura 6.3 – Comparação de Histogramas

Antes de realizar os experimentos, foi realizada uma entrevista prévia (Anexo 1) para traçar o perfil do usuário e identificar suas expectativas com relação ao uso do aplicativo. O termo de consentimento livre e esclarecido também foi lido para o usuário nessa fase. Após o experimento, realizou-se novamente uma entrevista de pós-teste (Anexo 2) para avaliar as impressões do usuário sobre o uso do aplicativo. Optou-se por realizar entrevistas semi-estruturadas que contavam com um roteiro prévio de perguntas, porém permitia-se que o usuário discorresse sobre o que achasse necessário [PRS05]. Durante as entrevistas e o experimento realizou-se a captura de áudio e vídeo. O instrumento do pós-teste foi lido para o usuário e as respostas foram registradas pelo avaliador. Este instrumento foi organizado em 13 perguntas, sendo 10 perguntas abertas e 3 fechadas, para avaliar critérios de usabilidade e de satisfação de uso do usuário.

Conforme assinalado anteriormente o sistema é composto por dois módulos. O módulo do sistema inteligente foi instalado em um servidor Ubuntu versão 14.04 em uma máquina virtual com 4 GB de RAM. O Host dessa máquina virtual é um Notebook Dell Inspiron 15 com processador iCore 7 e 16 GB de RAM. O módulo do usuário foi testado em um dispositivo

Samsung Galaxy Gran Prime Duos com 8 GB de memória RAM e com sistema Operacional Android Lolipop 5.1 instalado. As próximas seções detalham os experimentos realizados.

6.1.1 Primeiro experimento: FACIN

No primeiro experimento, o usuário fez uso do aplicativo instalado no dispositivo móvel para auxiliar na identificação de diversos objetos presentes em um gabinete desocupado no 7º andar da FACIN. Cabe ressaltar que o usuário não tinha conhecimento prévio do ambiente. O usuário A1 é cego de nascença e se encontra na faixa etária dos 18 a 25 anos. O usuário tem experiência no uso de *smartphones* e faz uso do leitor de tela *TalkBack*³, porém nunca utilizou aplicativos para auxiliar no deslocamento por ambientes abertos e fechados. Para realizar essa tarefa, geralmente faz uso de outros recursos, como bengala e auxílio de terceiros. Se tivesse oportunidade de utilizar um software dessa natureza, esperaria que o auxiliasse a realizar as tarefas de forma mais independente e o ajudasse na identificação de obstáculos. No gabinete da FACIN, os objetos estavam distribuídos da seguinte forma: à esquerda encontrava-se uma estante, à sua frente a porta, a aproximadamente 2 metros encontrava-se uma cadeira preta. Em frente, à direita a aproximadamente 1 metro, uma mesa de forma circular e sobre ela o notebook. Ao lado da porta, encontrava-se uma mochila apoiada sobre um armário bege. Optou-se por adicionar elementos como notebook e mochila para demonstrar que a classificação realizada pelo sistema poderia auxiliar não somente na identificação do mobiliário, mas também em objetos de uso diário do usuário. A Figura 6.4 representa a distribuição de objetos no ambiente.

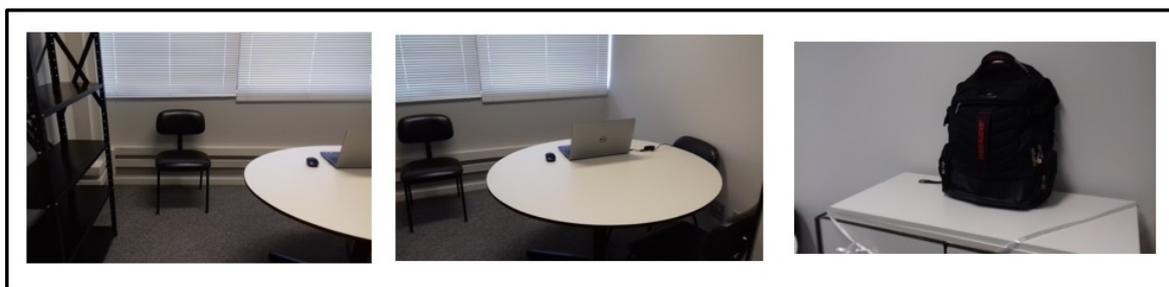


Figura 6.4 – Gabinete FACIN

Para avaliar o uso do aplicativo, o usuário foi convidado a realizar três tarefas. Na primeira, a partir da porta, ele deveria reconhecer dos objetos que pudessem ser identificados a partir desse ponto. Cinco objetos cadastrados no sistema poderiam ser encontrados: estante, mesa, notebook, cadeira e mochila. Inicialmente, o usuário identificou a cadeira e após a estante ao deslocar-se em direção à cadeira. A segunda tarefa solicitava que o usuário se deslocasse até a mesa, porém como ela não foi identificada no passo anterior, ele passou a explorar o ambiente

³O *TalkBack* é um serviço de acessibilidade que vem pré-instalado na maioria dos dispositivos Android. Esse aplicativo implementa um feedback falado para auxiliar usuários com deficiência visual ou com problemas de visão a interagir com seus respectivos dispositivos.

utilizando o *smartphone*. Durante esse processo, o usuário conseguiu identificar o objeto mochila com o uso exclusivo do aplicativo e o objeto mesa com o uso do aplicativo combinado ao tato. Após deslocar-se por todo o ambiente, foi solicitado ao usuário que, fazendo uso de material concreto (Figura 6.5), representasse o ambiente explorado. O usuário recebeu materiais em miniatura que representam objetos e móveis da sala e realizou a sua distribuição em um mapa tátil. Constatou-se que a todos dos objetos foram posicionados corretamente.

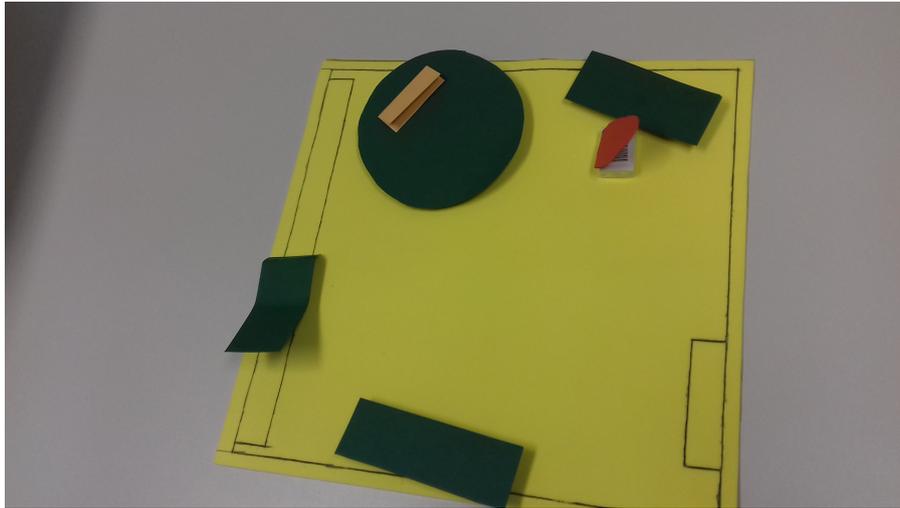


Figura 6.5 – Mapa tátil do usuário cego

No experimento com o usuário A1, percebeu-se em alguns casos que a leitura das mensagens pelo aplicativo não acompanhava sua a movimentação. O usuário já havia mudado de posição, e o aplicativo ainda estava lendo a mensagem referente ao processo anterior. Observou-se, também, que em alguns momentos o sistema buscou classificar objetos com base em capturas parciais de objetos o que, em alguns casos, ocasionou classificações equivocadas. Outro fator complicador foi a forma como o usuário utilizou o celular. Em alguns momentos, quando o sistema informou que um objeto não poderia ser reconhecido, o usuário passou a executar movimentos mais rápidos e, em alguns casos, circulares, buscando identificar o objeto. Isso contribuiu para a captura de imagens inválidas que eram descartadas pelo sistema. Esse fato colaborou para que o sistema emitisse mensagens informando que os objetos não puderam ser identificados. Isso deu a impressão de que o sistema havia parado de funcionar, porém na medida em que o usuário prosseguiu com a exploração do ambiente, a identificação de objetos voltou a ocorrer. O experimento com o usuário A1 motivou a adição do recurso de vibração para alertar o usuário sobre o recebimento de novas mensagens. Essa nova funcionalidade poderia alertar o usuário sobre o recebimento de uma nova mensagem pelo dispositivo enquanto a mensagem imediatamente anterior ainda estivesse sendo lida pelo motor *Text-to-Speech* do dispositivo Android.

Ao final do experimento, foi aplicado o questionário de pós-teste. O usuário A1 assinalou que foi fácil utilizar o aplicativo e que foi fácil de aprender como utiliza-lo. O usuário assinalou, porém, que o aplicativo apresenta demora na reprodução das mensagens. Segundo

o usuário, foi possível compreender os objetos e as mobílias presentes no ambiente com pouca dificuldade, e a relação entre os objetos com facilidade. Para o usuário A1, o aplicativo auxiliou no reconhecimento de objetos e mobília, e a interface sonora foi útil para compreender essa relação. O usuário recomendaria o uso do aplicativo e sugere melhorar a interface sonora e as mensagens sobre o posicionamento de objetos. O experimento, incluindo a aplicação de questionário para identificação do perfil e de expectativas com relação ao sistema, a execução das tarefas e o preenchimento do pós-teste, teve duração de 30 minutos.

6.1.2 Segundo experimento: APACE

O segundo experimento foi realizado na sala de reuniões da APACE, seguindo o protocolo do primeiro experimento. O usuário A2 possui cegueira adquirida na adolescência e encontra-se na faixa etária dos 36 aos 45 anos. O usuário tem experiência limitada no uso de *smartphones*. Para realizar a tarefa de deslocamento no ambiente, geralmente faz uso de outros recursos, como tato e bengala. Se tivesse oportunidade de utilizar um software dessa natureza, esperaria que o auxiliasse na identificação de obstáculos. Para avaliar o uso do aplicativo, foram propostas tarefas que deveriam ser realizadas pelo usuário na sala de reuniões. Neste caso, o usuário já tinha conhecimento prévio do ambiente. Comumente o usuário faz uso do tato para identificar os objetos desse sala de reuniões. Na sala de reuniões, os objetos estavam distribuídos da seguinte forma: em frente à porta, a aproximadamente 1 metro de distância, encontrava-se um conjunto de cadeiras pretas distribuídas em 5 fileiras e, ao fundo, uma persiana bege (a aproximadamente 2 metros). À esquerda, encontrava-se um corredor de aproximadamente 2 metros, e ao final deste, à direita, uma mesa sobre a qual se encontrava um notebook. A Figura 6.6 representa a distribuição de objetos no ambiente. Neste experimento, o usuário A2 faria uso do aplicativo para auxiliar em seu deslocamento pelo ambiente. Nesse ambiente, o usuário poderia identificar seis objetos: mesa, notebook, janela, caixa de som, cadeiras e persiana. Ao iniciar o uso do aplicativo, o sistema identificou as cadeiras e a persiana. A partir dessas informações adquiridas com o uso exclusivo do aplicativo, o usuário pôde deslocar-se até a janela e retornar ao corredor. Após ele percorreu o corredor em direção a mesa. Ao final do corredor identificou o notebook. O objeto mesa não foi identificado, porém o usuário assumiu que o notebook estava sobre a mesma. Observou-se inicialmente que o usuário apresentou certa dificuldade em compreender que o sistema informava a posição dos objetos em relação a posição da câmera do *smartphones* e não ao seu posicionamento corporal. Mesmo assim, o usuário pôde proceder com a exploração do ambiente. Destaca-se que o sistema permitiu que o mesmo pudesse se deslocar com mais segurança e autonomia pelo espaço. O segundo experimento também teve duração de 30 minutos.

Ao final do segundo experimento o usuário respondeu ao questionário de pós-teste. Para o usuário A2, o sistema também se mostrou de fácil utilização. O usuário, porém, relatou dificuldades com o posicionamento da câmera. O usuário assinalou facilidade para estabelecer

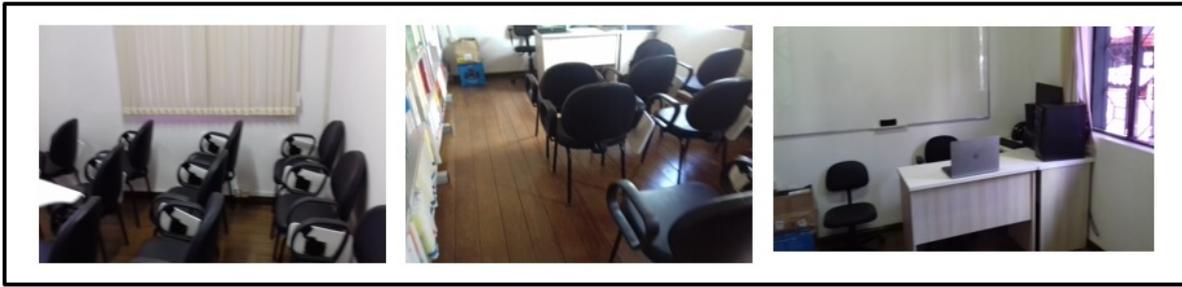


Figura 6.6 – Sala de reuniões APACE

a relação entre objetos e mobílias. Para o usuário A2, o sistema auxiliou na compreensão do ambiente e auxiliou no seu deslocamento. Considerou o uso da interface sonora e o recurso de vibração importantes para compreender a relação entre os objetos e as mobílias. O usuário A2 recomendaria o uso do aplicativo e sugere estender seu uso para o reconhecimento de objetos menores. Destacou, porém, que é necessário orientação prévia sobre como direcionar a câmera do *smartphone*.

6.1.3 Considerações sobre o uso de espaços conceituais e histogramas

No experimento realizado com o usuário A2, foram registrados 214 processos de classificação que ocorreram enquanto o usuário explorava o ambiente. Conforme exposto anteriormente, somente seis objetos desse ambiente estavam cadastrados na base de conceitos. Nesse sentido, cabe ressaltar que os 214 processos registrados referem-se a tentativas de identificar um destes seis objetos no ambiente. Dos 214 processos de classificação, 134 tiveram resultados que foram filtrados pelo algoritmo de classificação. Nesses casos, a distância entre o ponto que representa o objeto observado e os centroides dos conceitos ficaram acima do ponto de corte estabelecido no Algoritmo 01. Nesse caso, se houvesse algum conceito eleito, ele não poderia ser utilizado para classificar o objeto percebido no ambiente. Três situações podem resultar na não-classificação de um objeto: não há conceito especificado para o objeto na base de conceitos; não foi possível segmentar corretamente objetos da imagem capturada pelo *smartphone* ou a imagem como um todo é inválida. Cabe ressaltar que, como o sistema realiza a captura de imagens enquanto o usuário se movimenta, é bastante comum a captura de imagens como as representadas na Figura 6.7. Isso explica o número alto de objetos descartados no processo de classificação. Mesmo com o ponto de corte funcionando relativamente bem, o sistema ainda acusou 21 classificações equivocadas, ou seja, a associação de um conceito a um objeto que não corresponde ao que foi observado.

Dos 214 processos de classificação, houveram 59 classificações corretas, ou seja, o conceito associado a um determinado objeto realmente representa o que foi observado. No que

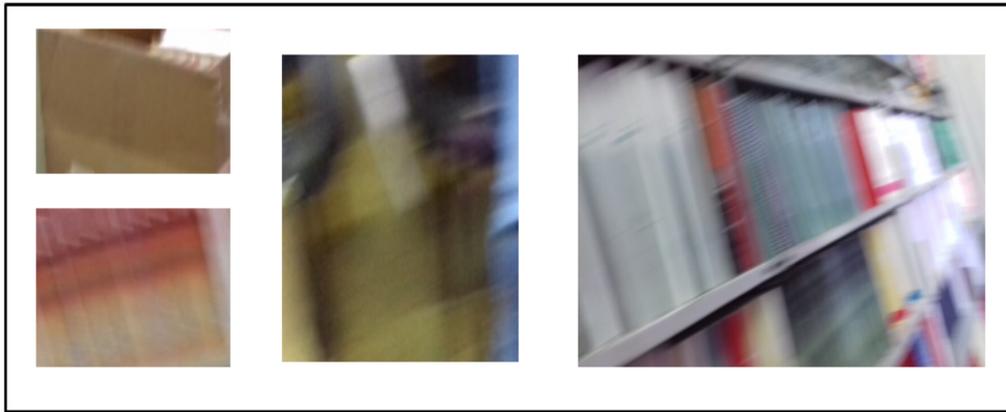


Figura 6.7 – Imagens inválidas capturadas no ambiente

tange ao uso das abordagens de classificação, os resultados obtidos puderam ser distribuídos conforme especificado a Tabela 6.1:

Tabela 6.1 – Classificações corretas

Abordagem utilizada	Classificações corretas
Espaços Conceituais e Histogramas	22
Somente Espaços Conceituais	27
Somente Histogramas	10
Total:	59

De acordo com esses resultados, 22 objetos foram classificados da mesma forma por histogramas e espaços conceituais. Nesse caso, o resultado da execução de ambas abordagens de classificação chegaram ao mesmo resultado no que tange a classificação de um mesmo objeto. Além disso, 27 objetos foram classificados corretamente somente pelo espaço conceitual e mais 10 foram classificados corretamente somente pelo cálculo de histogramas. No total, é possível considerar que o espaço conceitual classificou corretamente 49 objetos e o cálculo de histogramas, 32. Os resultados permitiram observar que a abordagem dos espaços conceituais se mostrou flexível, pois permitiu classificar objetos mesmo que eles não fossem capturados com precisão ou fossem capturados parcialmente, como se pode observar na Figura 6.8

Esse comparativo não objetiva demonstrar que uma técnica é mais eficaz que a outra. Sobretudo, buscou-se assinalar a viabilidade da abordagem dos espaços conceituais. Essa abordagem se mostrou adequada para o tipo de reconhecimento necessário para o contexto em que esta aplicação foi utilizada, ou seja, a captura e a classificação de objetos com o usuário em movimento e a identificação parcial de objetos. Ela se diferencia da abordagem de histogramas por buscar estabelecer a classificação de objetos a partir de suas características e não a partir da comparação dos pixels que a compõem. Há casos, entretanto, em que se observam dificuldades em diferenciar objetos como características semelhantes. Considera-se que essas dificuldades podem ser dirimidas uma vez que o processo de extração de contornos pode ser qualificado

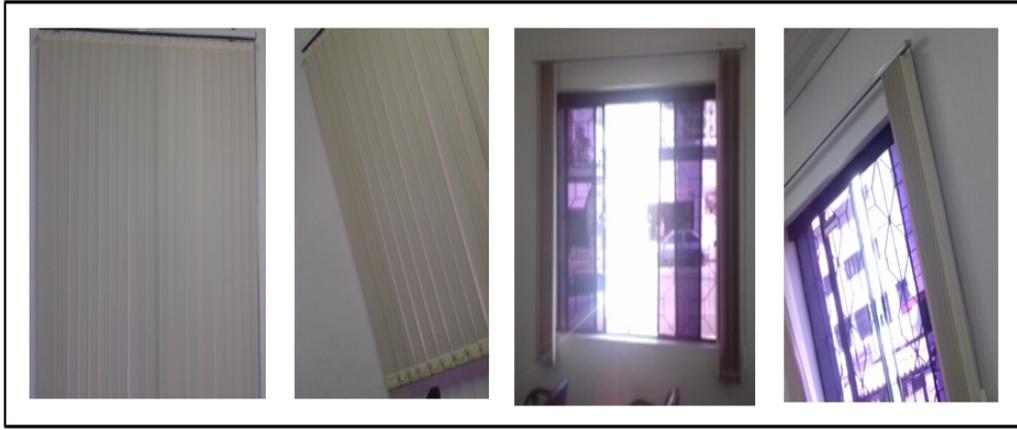


Figura 6.8 – Captura de objetos no ambiente

para detectar melhor as partes que compõem o objeto. Além disso, novos domínios podem ser adicionado ao espaço conceitual de objetos como um espaço para a especificação de texturas, o que permitiria tornar o classificador mais preciso.

6.2 Espaços conceituais e outras abordagens não-simbólicas

Diversas abordagens não-simbólicas foram desenvolvidas ao longo dos anos para auxiliar no reconhecimento de objetos, dentre as quais se pode citar o uso de redes neurais artificiais [GB14, ESTA14], *deep neural networks* [STE13], redes bayesianas [CDSM10] e conjuntos *fuzzy* [MGM05, MMRS09, APV04]. Cabe ressaltar, entretanto que os espaços conceituais objetivam estabelecer um mecanismo para representar conceitos e realizar inferências em nível conceitual. Assim, qualquer comparativo entre os espaços conceituais e outras abordagens para permanecer justas devem se estabelecer neste escopo. Lewis e Frank [LF13], por exemplo, propuseram representar conceitos por meio de redes bayesianas. Os autores propõem um modelo hierárquico que estabelece a relação probabilística entre termos resultando na generalização de conceitos. Craven e Shavlik [CS93] descrevem o uso de redes neurais para estabelecer o suporte de representações simbólicas. Hinton [PH00, Hin00] demonstrou que redes neurais podem ser utilizadas para representar conceitos. Edelman [Ede95] assinala que conceitos podem ser representados por um conjunto de elementos prototípicos projetados em um espaço multidimensional que representa as características percebidas em objetos. Premissa similar à ideia é utilizar-se domínios para acomodar as percepções identificadas em objetos. O autor denomina esse conjunto como *Chorus of Prototypes* e sustenta a ideia de que a similaridade entre objetos pode ser determinada por meio do uso de funções de distância. Essa abordagem privilegia o uso de representações que permitem caracterizar com precisão os objetos, porém torna mais complexo o estabelecimento de representações conceituais que possam ser generalizadas. Rickard [Ric06], por outro lado, propõe a representação de conceitos por meio de conjuntos *fuzzy* sobre os quais é possível aplicar operações de similaridade. Nessa abordagem, os conceitos são representados

por matrizes que representam a correlação entre as propriedades de conceitos e os pontos de um hipercubo.

Um princípio básico para estabelecer um nível de representação conceitual é preservar a capacidade de formar conceitos por meio da combinação ou recombinação de conceitos ou propriedades. Trata-se de uma característica inerente ao processo de raciocínio e que pode ocorrer naturalmente nos espaços conceituais. Por definição, conceitos são resultantes da combinação de diferentes propriedades. Regiões de cor e forma podem ser combinadas para gerar diferentes conceitos. Novos conceitos, eventualmente, podem emergir da combinação de conceitos pré-existentes. Por exemplo, no Algoritmo 2 (Capítulo 4) apresentou-se o código para realizar a classificação de ambientes. Nesse algoritmo, observa-se que para realizar a classificação do ambiente armazena-se a descrição de todos os objetos classificados em uma estrutura temporária. No momento em que o último objeto da imagem é identificado, procede-se a classificação do ambiente. Os valores da estrutura temporária são recuperados e comparados com uma base de dados que contém a representação dos ambientes. A representação que contém o maior número de ocorrências de objetos é eleita para representar o ambiente. A estrutura utilizada para representar os ambientes é composta por um identificador único e um vetor que contém os identificadores dos conceitos que representam os objetos que devem ser encontrados nos ambientes cadastrados.

No espaço conceitual em um conjunto de conceitos C , um conceito é declarado como $c (id, r_1, \dots, r_n)$, onde r representa o conjunto de domínios do espaço. Ambientes também podem ser representados por estruturas similares. Ou seja, um conjunto de ambientes E é composto por elementos, tal que $e (id, c_1, \dots, c_n)$, onde c indica o identificador de cada conceito. Se os ambientes podem ser representados dessa forma, isso também significa que as similaridades de representações de ambientes podem ser determinadas por meio de funções de distância. Uma proposta para determinar a similaridade entre ambientes por meio de funções de distância é apresentada no Algoritmo 5 (Figura 6.9). Neste, considera-se que seja F o conjunto de todos os objetos lidos em uma determinada imagem, para cada objeto definido por $f (id, i_1, \dots, i_n)$, onde i representa os pontos lidos na instância. Após, passa-se a iterar sobre o conjunto de ambientes (linha 6). Para cada ambiente, extrai-se o vetor (K) que contém os identificadores únicos dos conceitos (linha 8) e verifica-se se a descrição do objeto lido encontra-se no vetor K (linha 9). Se estiver, procede-se o cálculo de distância. Para o objeto lido do vetor f , extrai-se o vetor de pontos (cor e forma) (linha 11). Recupera-se o identificador do conceito e , a partir deste, as regiões do conceito e os valores dos respectivos centroides (linha 12). Após, estabelece-se o cálculo de distância nos mesmos moldes do Algoritmo 1 (linha 13). Armazena-se o resultado desse cálculo em uma estrutura (N) composta pelo identificador do ambiente e pelo resultado do cálculo da distância (linha 15). Se o ambiente já estiver cadastrado nessa estrutura, atualiza-se o valor da distância. Se não estiver, o identificador e o valor da distância calculada são adicionados. Se o objeto lido não estiver em K , realiza-se o mesmo processo; em vez de informar os pontos da instância, informa-se um valor zerado (linha 19). Ao final desse

processo, recupera-se do vetor N a descrição do ambiente com o menor valor de distância (linha 26).

Algorithm 5 Processo de classificação de ambientes

```

1 : function ENVIROMENTCLASSIFIER
2 :   ElectedEnviroment  $\leftarrow$  null
3 :   if (empty( $F$ ) then
4 :     ElectedEnviroment  $\leftarrow$   $ND$ 
5 :   else
6 :     for all  $f \in F$  do
7 :       for all  $e \in E$  do
8 :          $K \leftarrow$  getConcepts( $e$ )
9 :         if ( $f \in K$ ) then
10 :           $k \leftarrow$  getID( $f, K$ )
11 :           $ip \leftarrow$  getPoints(getColorPoint( $f$ ), getShapePoint( $f$ ))
12 :           $cp \leftarrow$  getPoints(getColorCentroid( $k$ ), getShapeCentroid( $k$ ))
13 :           $d \leftarrow$  distance( $ip, cp$ )
14 :           $nid \leftarrow$  getEnvID( $e$ )
15 :           $N \leftarrow$  updateCandidates( $eid, getDist() + d$ )
16 :        else
17 :           $k \leftarrow$  getID( $f, K$ )
18 :           $cp \leftarrow$  getPoints(getColorCentroid( $k$ ), getShapeCentroid( $k$ ))
19 :           $d \leftarrow$  distance( $c, 0$ )
20 :           $nid \leftarrow$  getEnvID( $e$ )
21 :           $N \leftarrow$  updateCandidates( $eid, getDist() + d$ )
22 :        end if
23 :      end for
24 :    end for
25 :  end if
26 :  ElectedEnviroment  $\leftarrow$  SelectEnviroment( $N$ )
27 :  ReturnElectedEnviroment
28 : end function

```

Figura 6.9 – Classificação de ambientes através do cálculo de distância

Outra característica da abordagem dos espaços conceituais é permitir a integração com o sistema simbólico do agente sem nunca abrir mão da representatividade dos conceitos. O Algoritmo 6 (Figura 6.10), por exemplo, apresenta uma função interna implementada no sistema que permite recuperar informações do espaço conceitual que em muitos casos representam as justificativas das crenças do agente.

O Código listado na Figura 6.11 traz um exemplo da aplicação do Algoritmo 4 e pode ser observado em um exemplo derivado da proposta de se utilizar representações conceituais para ambientes. A partir da interface entre o nível simbólico e o conceitual, é possível recuperar de forma natural os pontos que representam a trajetória executada pelo usuário entre ambientes. Conforme especificado na seção anterior, sempre que o agente recebe uma nova imagem, ele estabelece a relação entre esta e a última imagem que foi processada e classificada. Considerando-se que as relações são estabelecidas entre frames que foram realizados com sucesso e o descarte de frames inválidos foi realizado, é possível recuperar, através das crenças do

Algorithm 6 getCSMLObjPoint Internal Action

```

1: function GETCSMLOBJPOINT(Term ObjC, ResV)
2:    $m \leftarrow CSMLdb()$ 
3:    $C \leftarrow getConcepts(m)$ 
4:   for all  $c \in C$  do
5:     if  $sameID(c, ObjC)$  then
6:        $p \leftarrow getPoint(c)$ 
7:     end if
8:   end for
9:   Return unifies(p, ResV);
10: end function

```

Figura 6.10 – Recuperação de informações do espaço conceitual

agente, a trajetória do usuário. E, se necessário, buscar essa representação na forma de vetores de pontos do espaço conceitual.

```

1: .findall(a(E1,E2), frame_anterior(F1,F2) & hasSimilarity(F1,E1) &
  hasSimilarity(F2,E2) ,T);
2: for ( .member(K,T) ) {
3:   getConcept1(K,C1);
4:   getCSMLConceptPoint(C1);
5:   getConcept2(K,C2);
6:   getCSMLConceptPoint(C2);
7: }

```

Figura 6.11 – Exemplo de aplicação

Os exemplos que foram apresentados buscam ressaltar a naturalidade com que podem ser estabelecidas as relações entre os níveis simbólico e conceitual através da abordagem dos espaços conceituais. Assim como o espaço conceitual pode ser utilizado para fundamentar informações enviadas ao nível simbólico, também é possível recuperar informações do espaço conceitual a qualquer momento. Essa funcionalidade pode inclusive ser utilizada para estabelecer subsídios para qualificar a comunicação entre agentes em sistemas multiagentes. Essa naturalidade na relação entre os níveis conceitual e simbólico não ocorre na maioria das abordagens citadas anteriormente. Além disso, a abordagem não está limitada à classificação de objetos. Conceitos podem emergir, e novas relações podem ser estabelecidas por meio das relações estabelecidas no próprio espaço conceitual.

6.3 Conclusão

Este capítulo buscou discutir a viabilidade da abordagem dos espaços conceituais a partir do estabelecimento de um processo de avaliação do protótipo desenvolvido. A abordagem se mostrou adequada para o tipo de aplicação que está sendo proposta. A classificação de objetos

baseada em conceitos torna o sistema mais flexível e permite realizar a classificação de objetos mesmo quando eles são capturados parcialmente. Em comparação à abordagem de histogramas, os espaços conceituais produzem bons resultados, que podem ser melhorados com a adição de novos domínios ao espaço, o que proporcionaria a criação de melhores descritores para auxiliar na classificação de objetos. Um melhor treinamento dos usuários em relação ao uso do aplicativo também poderia contribuir para melhores resultados.

Buscou-se, neste capítulo, demonstrar que a abordagem dos espaços conceituais é flexível e não está limitada somente à classificação de objetos. Os conceitos do espaço podem ser recombinaados, permitindo a emergência de novos conceitos. Esses novos conceitos permitem que novos processos de classificação possam ser estabelecidos, adicionando novas funcionalidades ao sistema. Por fim, o capítulo apresentou o processo de avaliação do sistema junto a usuários cegos, que assinalam que se faz necessário melhorar algumas funcionalidades do sistema, principalmente no que tange ao posicionamento dos objetos e à demora na atualização das mensagens lidas pelo aplicativo móvel. Ambos os usuários assinalaram, entretanto, que o sistema foi útil e permitiu estabelecer recursos para reconhecer objetos e móveis no ambiente e estabelecer a relação entre eles.

7. CONCLUSÃO

Segundo Ausubel [Aus03], todo o processo de construção do conhecimento suscita a necessidade de se estabelecer mecanismos para organizar as informações que são capturadas pelo aparato cognitivo do sujeito. Segundo o autor, essa estrutura organizacional permite que o aparato constitua relações relevantes sobre os conhecimentos já adquiridos ao mesmo tempo em que fornece as bases para que novos conhecimentos sejam assimilados. Motivado pelo intuito de estabelecer uma estratégia para qualificar o processo de raciocínio de agentes BDI, observou-se que com a constituição de um modelo de inferência conceitual esse objetivo poderia ser atingido. Mesmo considerando outras abordagens já desenvolvidas com esse intuito, observou-se que os espaços conceituais poderiam constituir-se em uma alternativa interessante ao permitir estabelecer naturalmente um elo entre as informações processadas em nível perceptual e simbólico. Nesse sentido, propôs-se integrar a arquitetura do agente BDI um nível de representação conceitual do conhecimento com base nos pressupostos da teoria dos espaços conceituais. Esse objetivo foi concretizado, resultando no desenvolvimento de um protótipo voltado ao auxílio de usuários cegos. O sistema objetiva realizar o reconhecimento de objetos e móveis do ambiente e fornece ao usuário informações resultantes do processo de classificação realizado por ele.

A implementação do protótipo foi possível a partir da integração dos *framework* Jason com espaço conceitual para objetos desenvolvido com o auxílio da API CSML. Seguindo as proposições de Adams e Rubal, que assinalam que as regiões do espaço conceitual poderiam ser representadas na forma de politopos convexos, realizou-se a definição dos domínios de cor e forma. O domínio cor foi definido com base no modelo RGB, e a forma em Hu-moments. A partir da API e sua interface com o software matemático q-hull, foi possível definir regiões para cor e forma de objetos. Essas regiões foram definidas a partir de uma base de imagens que continham objetos que foram utilizados como pontos de referência para o usuário cego nos ambientes avaliados. No espaço conceitual, foi definido um classificador que realiza a comparação de objetos observados no ambiente com os elementos prototípicos de cada conceito.

Para facilitar o uso do protótipo pelo usuário, optou-se por utilizar um telefone celular para realizar a captura de imagens. Optou-se pelo dispositivo móvel porque ele, em muitos casos, já faz parte do cotidiano dos usuários cegos e não traria nenhum transtorno adicional à sua mobilidade. Ao mesmo tempo, observou-se que futuramente o sistema poderia ser portado para a área da robótica, na qual poderiam se constituir robôs para auxiliar usuários cegos. Assim, optou-se por desenvolver o sistema sobre a plataforma ROS. Para preservar a robustez do sistema, optou-se por dividi-lo em dois módulos: o módulo usuário, responsável pela captura de imagens, e o módulo do sistema inteligente, responsável pelo processo de classificação dos objetos do ambiente.

Durante o processo de validação do sistema junto a usuários cegos, essas decisões se mostraram adequadas. Os usuários demonstraram facilidade no uso do dispositivo móvel. O posicionamento da câmera, em alguns casos, trouxe confusão, mas não invalidou o processo

como um todo. A classificação de objetos utilizando a projeção de objetos e conceitos no espaço conceitual também se mostrou adequada. Por meio do classificador, foi possível identificar a maior parte dos objetos dos ambientes e estabelecer um bom ponto de corte (estabelecido durante a fase de testes) para as classificações equivocadas. O sistema apresentou um processo de classificação relativamente rápido ao não deixar de enviar informações para o usuário em curto espaço de tempo.

O sistema, por vezes, não acompanha a velocidade com que o usuário realiza seus movimentos, e ocorreram casos em que as mensagens que estavam sendo lidas já não refletiam mais o posicionamento do usuário. Esse fato também interferia na compreensão sobre o posicionamento dos objetos, assim como o discernimento sobre o uso da câmera. A avaliação do sistema por parte dos usuários cegos é positiva. Segundo eles, o sistema é de fácil uso e auxiliou na identificação de objetos e mobílias dos locais avaliados. Todos esses pontos permitiram compreender melhor a complexidade envolvida em um sistema voltado ao auxílio de usuários cegos. Permitiram, também, estabelecer uma reflexão acerca da responsabilidade e da necessidade de continuar a pesquisa no sentido de estabelecer recursos para auxiliar na mobilidade de pessoas cegas.

A abordagem dos espaços conceituais também se mostrou adequada ao contexto de uso do sistema ao realizar o processo de reconhecimento de objetos com o usuário em constante movimento. Ao permitir a classificação de objetos por meio de suas características, essa abordagem permitiu realizar a classificação de objetos mesmo quando eles são capturados parcialmente. Esse processo, entretanto, poderia ser qualificado se novos domínios fossem adicionados ao espaço conceitual. A adição de um domínio para texturas poderia trazer mais precisão ao classificador utilizado. Outros domínios também poderiam ser descobertos. Conforme assinala Gärdenfors [Gär04], é sempre importante buscar por recursos que permitam expandir o escopo do que pode ser representado por meio dos espaços conceituais. Um aprofundamento nos estudos dos recursos disponibilizados da biblioteca OpenCV, por exemplo, poderia apontar para caminhos que proporcionassem a descoberta de novos espaços conceituais e a emergência de novas aplicações baseadas nessa abordagem.

O estudo do processo de orientação e mobilidade de deficientes visuais permitiu assinalar um processo de formação de conceitos complexo executado pelo usuário decorrente da necessidade de se estabelecer o reconhecimento de objetos e o ambiente no qual eles se encontram inseridos. A categorização do ambiente permite auxiliar na orientação do deficiente visual para recuperar seu modelo mental do ambiente ou auxiliá-lo na criação de um novo construto. Buscou-se demonstrar que a abordagem dos espaços conceituais é flexível o suficiente para permitir que as representações conceituais de ambientes emergissem da combinação de conceitos. Além disso, buscou-se demonstrar que a interface entre os níveis simbólico e conceitual ocorre com muita naturalidade, o que cria um potencial de uso dessa abordagem em diferentes aplicações de sistemas multiagentes. Um exemplo é o uso dos espaços conceituais para qualificar a comunicação entre agentes. Nesse contexto, os agentes podem confrontar ou compartilhar suas

crenças resgatando suas justificativas baseadas em espaços conceituais. Essa estratégia poderia inclusive estabelecer elementos para auxiliar no processo de argumentação [RS09]. Outro exemplo é a modelagem de ações e eventos através de espaços conceituais [GW12]. Trabalhos recentes como o desenvolvido por Westera [Wes08], demonstram o potencial dessa estratégia em aplicações voltadas para a área da robótica. O uso dos espaços conceituais para representar o conhecimento metafórico também pode ser explorado. Adams e Raubal preveem em sua álgebra a especificação de contextos e classes contrastantes. Um estudo sobre como explorar a representação o conhecimento metafórico e suas repercussões no processo de comunicação entre agentes podem estabelecer uma importante contribuição no desenvolvimento de sistemas multiagentes. Outro estudo interessante seria avaliar o processo de emergência do conhecimento metafórico a partir das representações de conceitos concretos [Lak87].

No que tange à aplicação desenvolvida, novos recursos podem ser considerados. Durante os experimentos, por exemplo, observou-se a necessidade de permitir que o usuário ouça novamente quais forma os objetos já identificados no ambiente assim como consultar informações sobre as características dos mesmos. Ambos são exemplos de recursos poderiam ser utilizados para auxiliar a melhor compreender o ambiente no qual se encontra. O desenvolvimento de uma interface que facilite a adição de novos conceitos que representam objetos à base de dados CSML também faz-se necessária. Apesar de o sistema ter sido desenvolvido para uso em *smartphones* ele não está restrito a essa tecnologia. Cabe avaliar outros dispositivos no qual o sistema possa ser utilizado visando facilitar sua operação.

Por fim, assinala-se que a pesquisa realizada buscou demonstrar a viabilidade do uso da abordagem dos espaços conceituais aplicados a agentes BDI. Nesta tese, buscou-se demonstrar o potencial dessa integração, que pode resultar em diversas aplicações na área de sistemas multiagentes. Buscou-se, sobretudo, estabelecer os alicerces para que novas pesquisas sejam realizadas em relação ao uso de espaços conceituais para representação de conhecimento em agentes BDI e para que o potencial dessa abordagem seja explorado em diversas áreas de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AG01] Aisbett, J.; Gibbon, G. “A general formulation of conceptual spaces as a meso level representation”, *Artif. Intell.*, vol. 133–1-2, Dez 2001, pp. 189–232.
- [APV04] Anderson, L.; Purdy, D. J.; Viant, W. “Variations on a fuzzy logic gesture recognition algorithm”. In: Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, 2004, pp. 280–283.
- [AR09a] Adams, B.; Raubal, M. “Conceptual space markup language (CSML): towards the cognitive semantic web”. In: Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Semantic Computing (ICSC 2009), 2009, pp. 253–260.
- [AR09b] Adams, B.; Raubal, M. “A metric conceptual space algebra”. In: Proceedings of the 9th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2009), 2009, pp. 51–68.
- [Aus03] Ausubel, D. “Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva”. Platano, 2003, 243p.
- [BDH96] Barber, C. B.; Dobkin, D. P.; Huhdanpaa, H. “The quickhull algorithm for convex hulls”, *ACM Trans. Math. Softw.*, vol. 22–4, Dez 1996, pp. 469–483.
- [BFdBCB15a] Brezolin, J. M. L.; Fiorini, S. R.; de Borba Campos, M.; Bordini, R. H. “Using conceptual spaces for belief update in multi-agent systems”. In: Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT 2015), 2015, pp. 178–181.
- [BFdBCB15b] Brezolin, J. M. L.; Fiorini, S. R.; de Borba Campos, M.; Bordini, R. H. “Using conceptual spaces for object recognition in multi-agent systems”. In: Proceedings of the 18th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2015), 2015, pp. 697–705.
- [BHW07] Bordini, R. H.; Hübner, J. F.; Wooldridge, M. “Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak Using Jason”. John Wiley & Sons, 2007, 292p.
- [BIP88] Bratman, M. E.; Israel, D. J.; Pollack, M. E. “Plans and resource-bounded practical reasoning”, *Computational Intelligence*, vol. 4, 1988, pp. 349–355.
- [BM13] Boucetta, A.; Melkemi, K. E. “Hand shape recognition using hu and legendre moments”. In: Proceedings of the 6th International Conference on Security of Information and Networks, 2013, pp. 272–276.
- [Bra90] Bratman, M. E. “What is intention?” MITPress, 1990, 495p.

- [Bra99] Bratman, M. E. “Intention, Plans, and Practical Reason”. Harvard University Press, 1999, 212p.
- [BV03] Bordini, R. H.; Vieira, R. “Linguagens de programação orientadas a agentes: Uma introdução baseada em agentspeak(1)”, *RITA*, vol. 10–1, 2003, pp. 7–38.
- [BWW97] Blasch, B. B.; Welsh, R. L.; Wiener, W. R. “Perception, locomotion, and orientation”. AFB Press, 1997, vol. 2, 775p.
- [CCFS04] Chella, A.; Coradeschi, S.; Frixione, M.; Saffiotti, A. “Perceptual anchoring via conceptual spaces”, Technical report, Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2004, 86p.
- [CDI05] Campos, M. B.; Damásio, J.; Inácio, T. “mabes: Avaliação de uso de uma aplicação móvel para usuários que são cegos”. In: *Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2015)*, 2005, pp. 927–936.
- [CDSM10] Chang, L.; Duarte, M. M.; Sucar, L. E.; Morales, E. F. “Object Class Recognition Using SIFT and Bayesian Networks”. Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 56–66.
- [CESK03] Carney, S.; Engbretson, C.; Scammell, K., Sheppard, V. “Teaching Students with Visual Impairments: A Guide for the support team”. Saskatchewan Learning, 2003, 124p.
- [CG01] Chella, A.; Gaglio, M. F. S. “Interpreting symbols on conceptual spaces: The case of dynamic scenarios”. In: *Proceedings of the AAAI Fall Symposium on Anchoring Symbols to Sensor Data in Single and Multiple Robot Systems*, 2001, pp. 60–66.
- [CGP01] Chella, A.; Gaglio, S.; Pirrone, R. “Conceptual representations of actions for autonomous robots”, *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 34–4, 2001, pp. 251–263.
- [CS93] Craven, M.; Shavlik, J. W. “Learning symbolic rules using artificial neural networks”. In: *Proceedings of the Tenth International Conference*, University of Massachusetts, 1993, pp. 73–80.
- [Dev] Developers, A. “Yuvimage”. Capturado em: <https://developer.android.com/reference/android/graphics/YuvImage.html>, Acessado em: 31 out 2016.
- [Dur54] Durant, W. “Historia da civilização”. Companhia Editora Nacional, 1954, 431p.
- [Ede95] Edelman, S. “Representation, similarity, and the chorus of prototypes”, *Minds and Machines*, vol. 5–1, 1995, pp. 45–68.

- [ESTA14] Erhan, D.; Szegedy, C.; Toshev, A.; Anguelov, D. “Scalable object detection using deep neural networks”. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2014, pp. 2155–2162.
- [FZS09] Flusser, B.; Zitova, B.; Suk, T. “Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition”. Wiley and Sons, 2009, 312p.
- [Gär00] Gärdenfors, P. “Conceptual Spaces: The Geometry of Thought”. MIT Press, 2000, 317p.
- [Gär04] Gärdenfors, P. “Conceptual spaces as a framework for knowledge representation”, *Mind and Matter*, vol. 2, 2004, pp. 9–27.
- [GB14] Goyal, S.; Benjamin, P. “Object recognition using deep neural networks: A survey”, *CoRR*, vol. abs/1412.3684, 2014.
- [GKL96] Golledge, R. G.; Klatzky, R. L.; Loomis, J. M. “Cognitive mapping and wayfinding by adults without vision”. In: *The construction of cognitive maps*, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers., 1996, vol. 32, cap. 4, pp. 215–246.
- [GL08] Giudice, N. A.; Legge, G. E. “Blind navigation and the role of technology.” John Wiley & Sons, 2008, 3rd ed., vol. 1, 997p.
- [Gol99] Golledge, R. G. “Human wayfinding and cognitive maps”. In: *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*, Johns Hopkins University Press., 1999, cap. 1, pp. 5–45.
- [GW12] Gärdenfors, P.; Warglien, M. “Using conceptual spaces to model actions and events”, *Jornal of Semantics*, vol. 29, 2012, pp. 487–519.
- [H⁺] Huaman, A.; et al.. “Opencv documentation”. Capturado em: <http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/tutorials.html>, Acessado em: 31 out 2016.
- [Har99] Harnad, S. “The symbol grounding problem”, *CoRR*, vol. cs.AI/9906002, 1999.
- [Hin00] Hinton, G. E. “Learning distributed representations of concepts using linear relational embedding”, 2000, pp. 1–12.
- [Hu62] Hu, M. K. “Visual pattern recognition by moment invariants”, *IRE Transactions on Information Theory*, vol. 8–2, 1962, pp. 179–187.
- [Joh83] Johnson-Laird, P. “Mental models”. Harvard University Press, 1983, 513p.
- [Kan01] Kant, I. “Critica da razão pura”. Fundação Calouste Gulbenkian, 2001, 5rd ed., 415p.

- [KB08] Klapiscak, T.; Bordini, R. H. “JASDL: A practical programming approach combining agent and semantic web technologies”. In: Proceedings of the Declarative Agent Languages and Technologies VI, 6th International Workshop, DALT 2008, 2008, pp. 91–110.
- [KW01] Keyes, L.; Winstanley, A. “Using moment invariants for classifying shapes on large-scale maps”, *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 25–1, 2001, pp. 119 – 130.
- [Lak87] Lakoff, G. “Women, Fire and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind”. University of Chicago Press, 1987, 632p.
- [LF13] Lewis, M.; Frank, M. C. “An integrated model of concept learning and word-concept mapping”. In: Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, (CogSci 2013), 2013.
- [LG10] Long, R. G.; Giudice, N. A. “Establishing and maintaining orientation for orientation and mobility”. American Foundation for the Blind, 2010, 3rd ed., vol. 1, 720p.
- [LJ93] Landau, B.; Jackendoff, R. “What and where in spatial language and spatial cognition”, *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 16, 6 1993, pp. 217–238.
- [LS08] LeBlanc, K.; Saffiotti, A. “Cooperative anchoring in heterogeneous multi-robot systems”. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008), 2008, pp. 3308–3314.
- [M⁺] Meneguzzi, F.; et al.. “Jason-ros”. Capturado em: <https://github.com/lisa-pucrs/jason-ros-releases/releases>, Acessado em: 31 out 2016.
- [Mac03] Machado, E. V. “Desenvolvimento da criança e políticas públicas de inclusão.” MEC, SEESP, 2003, 167p.
- [MGM05] Mercimek, M.; Gulez, K.; Mumcu, T. V. “Real object recognition using moment invariants”, *Sadhana*, vol. 30–6, 2005, pp. 765–775.
- [MMRS09] McConky, K. T.; McLaughlin, P.; Rose, W.; Sudit, M. “Automating battlefield event reporting using conceptual spaces and fuzzy logic for passive speech interpretation”. In: Proceedings of the 28th IEEE Conference on Military Communications, 2009, pp. 2023–2029.
- [Mum52] Mumford, L. “A condição do homem”. Editora Globo, 1952, 510p.
- [MVB03] Moreira, A. F.; Vieira, R.; Bordini, R. R. H. “Extending the operational semantics of a BDI agent-oriented programming language for introducing

speech-act based communication”. In: Declarative Agent Languages and Technologies, First International Workshop (DALT 2003), 2003, pp. 135–154.

- [PD11] Patil, E.; Dewangan, S. “Neural network-based offline handwritten signature verification system using hus moment invariant analysis”. In: International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Vol.1, Issue 1, 2011, pp. 73–79.
- [PH00] Paccanaro, A.; Hinton, G. E. “Learning distributed representations of concepts using linear relational embedding”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 13, 2000, pp. 232–244.
- [Pia73] Piaget, J. “To understand is to invent”. Basic Books, 1973, 148p.
- [Pia78] Piaget, J. “A epistemologia genetica: sabedoria e ilusões da filosofia da epistemologia genetica”. Ed. Abril Cultural, 1978, 294p.
- [Pic80] Pick, H.L., J. “Perception, locomotion, and orientation”. In: *Foundations of orientation and mobility*, AFB Press, 1980, vol. 1, cap. 4, pp. 73–88.
- [PRS05] Preece, J.; Rodgers, Y.; Sharp, H. “Design de Interação: Além da Interação Humano-Computador”. Bookman, 2005, 600p.
- [QCG⁺09] Quigley, M.; Conley, K.; Gerkey, B. P.; Faust, J.; Foote, T.; Leibs, J.; Wheeler, R.; Ng, A. Y. “Ros: an open-source robot operating system”. In: Proceedings of the ICRA Workshop on Open Source Software, 2009.
- [RA10] Raubal, M.; Adams, B. “The semantic web needs more cognition”, *Semantic Web*, vol. 1–1-2, 2010, pp. 69–74.
- [RAG07] Rickard, J. T.; Aisbett, J.; Gibbon, G. “Reformulation of the theory of conceptual spaces”, *Inf. Sci.*, vol. 177–21, 2007, pp. 4539–4565.
- [Rao96] Rao, A. S. “Agentspeak(1): Bdi agents speak out in a logical computable language”. In: Proceedings of the 7th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-agent World : Agents Breaking Away (MAAMAW 1996), 1996, pp. 42–55.
- [Ric06] Rickard, J. “A concept geometry for conceptual spaces”, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, vol. 5–4, 2006, pp. 311–329.
- [Rie02] Riecke, B. E. e von der Heyde, M. “Qualitative modeling of spatial orientation processes using logical propositions: Interconnecting spatial presence, spatial updating, piloting, and spatial cognition”. In: Tech. Report 100, MPI for Biological Cybernetics, 2002.

- [Ros99] Rosch, E. “Principles of categorization”. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1999, 664p.
- [RS09] Rahwan, I.; Simari, G. R. “Argumentation in Artificial Intelligence”. Springer Publishing Company, Incorporated, 2009, 493p.
- [RVO06] Ricci, A.; Viroli, M.; Omicini, A. “Cartago: An infrastructure for engineering computational environments”. In: Proceedings of the 3rd International Workshop on Environments for Multi-Agent Systems (E4MAS), 2006, pp. 102–119.
- [S⁺a] Stonierand, D.; et al.. “Ros android”. Capturado em: <http://wiki.ros.org/android>, Acessado em: 31 out 2016.
- [S⁺b] Stonierand, D.; et al.. “Ros java”. Capturado em: <http://wiki.ros.org/rosjava>, Acessado em: 31 out 2016.
- [She87] Shepard, R. N. “Toward a universal law of generalization for psychological science”, *Science*, vol. 237, 1987, pp. 1317–1323.
- [Sta79] Stalnaker, R. “Anti-essentialism”, *Midwest Studies in Philosophy*, vol. 4–1, 1979, pp. 343–355.
- [STE13] Szegedy, C.; Toshev, A.; Erhan, D. “Deep neural networks for object detection”. In: Proceedings of the 27th Annual Conference on Neural Information Processing Systems, 2013, pp. 2553–2561.
- [Sug08] Sugano, N. “Fuzzy set theoretical approach to the rgb tone triangular system”. In: Proceedings of the IEEE Conference on Soft Computing in Industrial Applications, 2008, pp. 72–77.
- [Tea] Team, O. “Local binary patterns histograms”. Capturado em: http://docs.opencv.org/2.4/modules/contrib/doc/facerec/facerec_tutorial.html, Acessado em: 31 out 2016.
- [Ung00] Ungar, S. “Cognitive mapping without visual experience”. In: Cognitive Mapping: Past Present and Future, 2000.
- [VK12] Vanajakshi, B.; Krishna, K. R. “Classification of boundary and region shapes using hu-moment invariants”. In: Indian Journal of Computer Science and Engineering, 2012, pp. 73–79.
- [Vyg98a] Vygotsky, L. S. “A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores.” Martins Fontes, 1998, 6rd ed., 168p.
- [Vyg98b] Vygotsky, L. S. “Pensamento e linguagem”. Martins Fontes, 1998, 2rd ed., 224p.

- [W⁺] William, W.; et al.. “Image transport”. Capturado em: http://wiki.ros.org/image_transport, Acessado em: 31 out 2016.
- [Wes08] Westera, M. “Action representations and the semantics of verbs”, Bachelors thesis, Utrecht University, Utrecht, 2008, 87p.
- [WG13] Warglien, M.; Gärdenfors, P. “Semantics, conceptual spaces, and the meeting of minds”, *Synthese*, vol. 190–12, 2013, pp. 2165–2193.
- [Woo02] Wooldridge, M. “Introduction to Multiagent Systems”. John Wiley and Sons, Inc, 2002, 484p.
- [Zso09] Zsolt, K. “Transferring embodied concepts between perceptually heterogeneous robots”. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2009, pp. 4650–4656.

8. ANEXO 01

Roteiro de entrevista (Pré – Teste)

1) Faixa-etaria:

- a) 18 a 25 anos
- b) 26 a 35 anos
- c) 36 a 45 anos
- d) 46 a 50 anos
- e) mais de 50 anos

2) No que se refere à sua deficiência visual, você possui cegueira ou baixa visão?

3) Sua deficiência é congênita ou adquirida? Se for adquirida, há quanto tempo você se considera deficiente visual?

4) Quais procedimentos você utiliza para identificar objetos ou mobílias? Bengala, ajuda de terceiros, outros recursos? Estes procedimentos se diferem em ambientes familiares ou não familiares?

5) Você faz uso de tablet, smartphone, ou dispositivos similares? Em caso afirmativo, qual o sistema operacional (Android, iOS, Windows phone, etc.)? Qual o leitor de telas utilizado?

6) Você utiliza, ou já utilizou, aplicativos no celular que auxiliem a reconhecer objetos? Em caso afirmativo, cite o nome do aplicativo e brevemente seu funcionamento.

7) Você utiliza, ou já utilizou, aplicativos no celular que auxiliem a reconhecer espaços reais? Em caso afirmativo, cite o nome do aplicativo e brevemente seu funcionamento.

8) Que tipo de informações você espera de um aplicativo que possa lhe auxiliar no reconhecimento de objetos?

9. ANEXO 02

Roteiro de entrevista (Pós – Teste)

1) Você considerou o aplicativo de fácil uso? Se você teve dificuldades para usar o aplicativo? Cite funcionalidades que considerou de fácil uso e funcionalidades que lhe trouxeram dificuldades no uso.

Facilidades:

Dificuldades:

2) Você considera que é fácil de aprender a utilizar o aplicativo?

Por que achou fácil de aprender?

Por que achou difícil de aprender?

3) Foi possível compreender os objetos e mobílias presentes no ambiente?

Sim, com facilidade

Sim, com pouca dificuldade

Sim, com muita dificuldade

Não

4) Foi possível compreender a relação entre objetos e mobílias presentes no ambiente?

Sim, com facilidade

Sim, com pouca dificuldade

Sim, com muita dificuldade

Não

5) As informações fornecidas podem auxiliar no reconhecimento de objetos e mobílias de um ambiente?

6) Você utilizaria o aplicativo para auxiliá-lo a reconhecer objetos e mobílias?

7) Você considera que o aplicativo pode lhe auxiliar no deslocamento?

8) Você considera que a interface sonora foi útil para compreender os objetos e mobílias?

9) Você considera que a interface sonora foi útil para compreender a relação entre os objetos e mobílias?

10) Você considera que o recurso de vibração foi útil para notificar a existência de objetos e mobílias?

11) Recomendaria o uso do aplicativo para:

Identificar objetos e mobílias Sim Não

Auxiliar no deslocamento Sim Não

12) Você teria sugestões para outros usos do aplicativo?

13) Você teria sugestões de melhorias para o aplicativo?