

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

ANDREY ARAUJO MASIERO

**GRUPO DE PERFIS COMPORTAMENTAIS COMO APOIO AO APRENDIZADO EM
INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ**

São Bernardo do Campo
2015

ANDREY ARAUJO MASIERO

**GRUPO DE PERFIS COMPORTAMENTAIS COMO APOIO AO APRENDIZADO EM
INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ**

Tese de Doutorado apresentada ao Centro Universitário da FEI para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica, orientado pelo Prof. Dr. Plinio Thomaz Aquino Junior e coorientado pelo Prof. Dr. Flávio Tonidandel.

São Bernardo do Campo
2015

A Deus e a minha família que são
o alicerce de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, que sempre me trouxe sabedoria e luz, mesmo nos momentos difíceis dessa jornada e de tantas outras.

À minha mãe Kathia, que desde o primeiro momento me apoiou e incentivou, mesmo quando tudo parecia impossível e eu não conseguia ver a luz no fim do túnel.

À minha irmã Andressa, que me suportou quando fiquei exaltado de felicidade ou tristeza perante as dificuldades.

Ao orientador Plinio Thomaz Aquino Junior, que me auxilia a direcionar nos caminhos ao longo da jornada acadêmica e pessoal, com seus sábios conselhos e cumplicidade, fortalecendo a parceira a cada momento nesses últimos anos.

Ao professor e coorientador Flavio Tonidandel, que ajudou a tornar esse trabalho possível, com seus conselhos e ensinamentos, além de sempre puxar a minha orelha quando algo estava estranho ou elogiar sempre que eu conseguia um bom resultado. Tudo isso faz com que nossa parceria seja majestosa, desde a época do mestrado.

Aos meus avós, Hélio e Rachel, que mesmo não presentes em carne, continuam iluminando minha vida e me guiam pelos caminhos que percorro deixando a sensação de sempre estar seguro.

Aos professores da FEI, que compartilharam ao longo desse período seus conhecimentos e amizade, ajudando na evolução desse trabalho e também a minha como pessoa.

Aos meus amigos, que sem esse laço seria impossível avançar mais um passo neste caminho cheio de curvas. Os momentos de descontração, de discussão, almoços e principalmente cafés foram e são de extrema importância para nos ajudar a andar no caminho chamado vida.

E por fim a todos que de alguma maneira contribuíram para mais essa conquista.

“In life, unlike chess, the game continues after checkmate.”

Isaac Asimov, 1988

RESUMO

A evolução da tecnologia torna-se cada vez mais evidente com o passar dos anos. As pessoas possuem computadores portáteis menores e com melhor configuração, *tablets*, aparelhos de telefonia móvel inteligentes interligados com relógios e também robôs que possuem tarefas específicas como aspirar o pó da casa ou monitorar o ambiente a partir de um determinado ponto. Contudo, o robô inserido no ambiente doméstico ou pessoal atual, é apenas mais um dispositivo tecnológico que a pessoa possui. Caso um robô autônomo capaz de realizar diversas tarefas domésticas e de cuidados pessoais médicos seja inserido nesse ambiente e ainda ele realize interações através de voz, gestos e toque com o ser humano, o sentimento a partir desse momento não seria mais de um dispositivo tecnológico no ambiente. Existe uma possibilidade do ser humano ficar de uma certa maneira desconfortável com a presença do robô. Considerando a situação de desconforto do ser humano com o robô, essa tese propõem uma metodologia que mapeia o conjunto de ações que o robô é capaz de executar visando a maximização da probabilidade de uma interação humano-robô com maior qualidade, baseando-se no comportamento e características do indivíduo. A partir do mapeamento de comportamento da pessoa é possível determinar o comportamento que o robô deve ter para proporcionar uma situação confortável para a interação com o ser humano. Como resultado espera-se um *framework* que possa aprender e analisar o comportamento do ser humano e que também seja capaz de transferir esse conhecimento com o robô inserido no ambiente, aumentando a eficácia da interação entre humanos e robôs.

Palavras-chave: Robótica Social, Proxemics, Raciocínio Baseado em Casos, Interação Humano-Robô, Perfil Comportamental

ABSTRACT

The technology's evolution has increased over the years. People have smaller laptops with better set up, tablets, smartphones interconnected with watches and also robots, which have specific tasks such as vacuuming or monitoring the environment from a certain point. However, the robot inserted into the current household or staff, is just another technological device that the person has. If an autonomous robot, able to perform various household chores and personal care doctors to be entered in this environment and still perform it interactions via voice, gestures and touch with the human being, the feeling would be no more than a technological device into the environment. There is a possibility of human beings in a way become uncomfortable with the presence of the robot. Considering the uncomfortable situation of the human being with the robot, this thesis proposes a methodology that maps the set of actions that the robot is able to perform in order to maximize the likelihood of human-robot interaction with higher quality, based on behavior and characteristics of the individual. From the behavior of the person mapping you can determine the behavior that the robot should have to provide a comfortable situation for interaction with humans. As a result we expect a framework that can learn and analyze the human behavior and also be able to transfer this knowledge to the robot inserted in the environment, increasing the effectiveness of the interaction between humans and robots.

Keywords: Social Robotic, Proxemics, Case-Based Reasoning, Human-Robot Interaction, Behavior Profile

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Zonas de Proximidades definido por Argyle (1988).	21
Figura 2 Chester e Blink os robôs apresentados por Vázquez et al. (2014).	29
Figura 3 Ciclo da Metodologia de um sistema de RBC.	33
Figura 4 Robô ActivMedia Robotics PeopleBot.	49
Figura 5 Projeto do Novo Manipulador do PeopleBot.	50
Figura 6 Processo para a extração das características do individuo.	51
Figura 7 Processo de Interação com Aprendizado baseado em Experiências Passadas.	58
Figura 8 Cenário de teste para primeira interação entre humano e robô.	61
Figura 9 Cenário de teste para segunda interação entre humano e robô.	62
Figura 10 Cronograma para Conclusão da Tese.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação de Sistemas de RBC de acordo com sua topologia 34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Principal	14
1.1.2 Objetivos Secundários	15
1.2 Motivação	15
1.3 Justificativa	16
1.4 Metodologia	16
1.5 Estrutura do Trabalho	17
2 INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ	18
2.1 <i>Proxemcis</i>	20
2.1.1 <i>Proxemics</i> e Interação Humano-Robô	22
3 RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS	33
3.1 Classificação de sistemas de RBC	34
3.2 A Base de Casos ou Conhecimento	37
3.2.1 Vocabulário	37
3.2.2 Modelando um Caso	37
3.2.3 Medida de Similaridade	38
3.2.4 Adaptação da Solução	39
3.3 Revisão dos Casos	40
3.3.1 Avaliando a Solução	40
3.3.2 Corrigindo as Falhas	41
3.4 Retenção dos Casos	41
3.5 Raciocínio Baseado em Casos aplicado em Robótica	43
4 PROPOSTA	48
4.1 O Robô	49
4.2 Extração das Características para o RBC	50
4.2.1 Selecionando as Variáveis para o Individuo	52
4.2.1.1 <i>Conjunto de Variáveis Etnográficas</i>	52
4.2.1.2 <i>Conjunto de Variáveis Comportamentais</i>	54

4.2.2 Selecionando as Variáveis para o Robô	55
4.3 Raciocinando com Base nas Interações Extraídas	57
4.3.1 Resgatar	58
4.3.2 Reutilizar	59
4.3.3 Reter	59
4.3.4 Revisar	60
5 CENÁRIOS DE TESTE	61
5.1 Cenário 1 - Primeira Interação	61
5.2 Cenário 2 - Cenário Doméstico	62
5.3 Seleção das Pessoas para o Teste	63
5.4	64
6 RESULTADOS ESPERADOS	65
7 CONCLUSÕES PARCIAIS	66
8 CRONOGRAMA	67
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Durante o passar dos anos foi possível acompanhar a contínua evolução dos sistemas computacionais, como por exemplo os telefones móveis, os computadores pessoais e portáteis, as televisões, e também os robôs pessoais, como o iRobot Roomba¹ e o JIBO². Pode-se perceber a evolução ao comparar a quantidade de tarefas que um telefone móvel é capaz de realizar e a diferença entre os tamanhos de seus componentes, os computadores e televisões cada vez com uma espessura menor e a inserção frequente de robôs móveis em ambientes sociais, como as casas e hospitais. Entretanto, os robôs Roomba e JIBO possuem tarefas específicas e o nível de interação com as pessoas não é diferente de alguns dos dispositivos existentes no mercado (HEENAN et al., 2014).

Contudo, existe uma popularização da robótica nos dias atuais principalmente devido ao relativo baixo custo e também devido aos dispositivos tecnológicos cada vez menores. Esse fenômeno faz com que pesquisadores e fabricantes sintam a necessidade de robôs inteligentes que possuam a habilidade de interagir com as pessoas onde este contato não gere desconforto de nenhum indivíduo. Visto que, com a popularização do contato na interação humano-robô aumentará de diversas maneiras, sendo o robô apenas uma ferramenta ou ele sendo um agente no mundo ao qual ele se encontra (LOOI; SEE, 2012). A interação entre robôs e seres humanos é importante não simplesmente pela questão social, mas também porque uma boa interação passa a ser uma questão essencial para a convivência entre todos, ao considerar que robôs já encontram-se em ambientes inteligentes como casas, hospitais e escolas (ALBO-CANALS et al., 2013; BROWN; KERWIN; HOWARD, 2013).

Um ambiente inteligente possui vários meios de interação, além de ser capaz de identificar alguns padrões e ainda ter um certo nível de autonomia em tomadas de decisão. O ambiente realiza as tarefas de interação através de sensores e atuadores espalhados em todos os seus espaços. Alguns sensores que considera-se são câmeras, infravermelhos, térmicos, entre outros. E os atuadores são todos os dispositivos que possam gerar interação, externando algo para o indivíduo, seja através de um movimento, uma imagem ou até mesmo algum sinal sonoro. Alguns exemplos de atuadores são: aparelho de televisão, cafeteira, lâmpadas, tomadas, geladeiras, painéis, aparelhos eletrônicos, entre outros. Dentro do ambiente inteligente também pode existir a presença de um robô móvel, que é um sensor interativo. O robô é capaz de realizar não somente

¹<http://www.irobot.com/For-the-Home/Vacuum-Cleaning/Roomba.aspx>

²<https://www.jibo.com/>

a leitura de padrões do indivíduo de maneira próxima e seguindo a pessoa a qualquer parte do ambiente, mas o robô também pode servir como um atuador durante a interação (LOOI; SEE, 2012; CHOI; KIM; KWAK, 2014; DOBRA, 2014).

Para aproveitar o robô sem que atrapalhe a rotina existente no ambiente, é necessário que o robô tenha um comportamento social esperado de qualquer agente humano que conviva neste mesmo ambiente. Entre pessoas é esperado um comportamento social onde exista respeito do seu espaço social e até mesmo cuidado durante a execução dos movimentos para que não seja agressivo ou invasivo. Quando existe um cenário de interação humano-robô, onde o ser humano deve realizar tarefas em conjunto com o robô ou até mesmo esperar que o robô realize uma tarefa, o comportamento social por parte do robô tem sido pouco explorado. Sem a preocupação com o comportamento social, o robô acaba gerando um desconforto para as pessoas que estão presentes no mesmo ambiente. O comportamento social pode ir além da execução de movimentos, pois é possível transmitir os sentimentos através de expressões corporais e faciais, além da maneira que se fala com o outro indivíduo. Em seu trabalho Hall (1969) define o termo *Proxemics* como a ciência que estuda esse comportamento social através de uma métrica de distância entre os indivíduos.

Em um trabalho posterior, Argyle (1988) define quatro níveis de distância social para complementar o trabalho de Hall (1969). Os quatro níveis de distância social são: (I) Íntima; (II) Pessoal; (III) Social; e (IV) Pública, sendo declaradas da mais próxima para a mais distante. O raio que determina cada um desses níveis dependerá da experiência de vida que cada indivíduo possui, podendo ainda ser influenciado pelo o local de origem ou nascimento. Seres humanos conseguem tratar essa questão comportamental de maneira natural e intuitiva. Toda-via, as pessoas possuem diferentes perfis e podem reagir ainda de maneira diferente de acordo com a tarefa que estão executando ou o ambiente em que estão inseridos (JUNG, 1991). Dessa forma, há a necessidade de, em muitos casos, adaptar a forma de interação para conseguir ganhar a confiança do indivíduo e conseguir se aproximar dele a uma distância de nível pessoal, pelo menos.

Considerando essas informações, pode-se perceber que o primeiro passo para uma boa interação é estabelecer um nível de confiança com um indivíduo onde a aproximação dele chegue a um nível pessoal. E a partir desse ponto é possível realizar novas tarefas em colaboração ou até em benefício para o próprio indivíduo, como no caso de cuidados pessoais. Porém, deve-se fazer com que o robô consiga interagir de forma intuitiva e natural como a apresentada na interação entre os seres humanos. Essa naturalidade na interação não ocorre de maneira im-

diata entre os seres humanos, ela é aprendida ao longo de sua vida (HALL, 1969; ARGYLE, 1988).

A partir do aprendizado ao longo de sua vida, o ser humano é capaz de identificar situações similares e a partir das experiências passadas tomar algumas decisões no presente. Em inteligência artificial existe uma metodologia que auxilia no aprendizado de máquina utilizando exatamente as experiências prévias. Essa metodologia é chamada de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) (LÓPEZ, 2013). Essa metodologia proporciona o armazenamento de novas experiências e a reutilização de experiências passadas em situações similares no presente.

Sendo assim, esta tese de doutorado apresenta um processo capaz de mapear um conjunto de informações comportamentais e características pessoais de um determinado indivíduo por intermédio de um robô. Com as informações armazenadas o robô poderá selecionar um conjunto de ações para conseguir realizar uma interação humano-robô de modo a maximizar a probabilidade de sucesso e qualidade desta. Esse processo deverá ser encapsulado em um *framework* permitindo que o conhecimento adquirido durante uma interação seja transferido para outros robôs.

Como cenário de teste para o processo identificou-se duas etapas que devem ser considerada ao longo da execução dos testes. A primeira etapa é estabelecer o conforto do indivíduo para executar qualquer tarefa subsequente. Para estabelecer esse conforto o robô deverá ser capaz de realizar ações que o façam aproximar do indivíduo até, pelo menos, na zona de proximidade de nível pessoal dele. O nível pessoal já será considerado como sucesso nos experimentos, devido a hipótese de que poucas pessoas mantém a interação dentro da zona social de nível íntimo. Após essa etapa, concluída com sucesso, inicia-se a execução da segunda etapa, que é uma tarefa que possa ser realizada pelo robô em um ambiente social doméstico. A tarefa que o robô irá executar está direcionada com o livro de regras da competição de robôs domésticos, RoboCup@Home (BEEK et al., 2015), como por exemplo a tarefa de um robô enfermeiro dentro da residência.

1.1 Objetivos

Nessa seção são apresentados o objetivo principal e os objetivos secundários defendidos por essa tese.

1.1.1 Objetivo Principal

Como objetivo principal, esta tese propõem um processo que mapeia o conjunto de ações que o robô é capaz de executar de tal forma que aumente a probabilidade de uma interação humano-robô com qualidade baseando-se no comportamento e características das pessoas.

1.1.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários almejados nessa tese são: (I) Construção de um *framework* para aprendizado de interação entre humanos e robôs; (II) Conseguir realizar a transferência de conhecimento sobre o aprendizado de interação entre os diversos tipos de robôs; (III) Fazer com que seja possível diminuir o número de casos a ser analisados pela metodologia de Raciocínio baseado em Casos utilizando a técnica de agrupamento de informações similares.

1.2 Motivação

O crescente uso da robótica em ambiente sociais como casas, hospitais e escolas fazem com que o estudo em interação humano-robô seja um tópico de atenção entre os pesquisadores. Esse é um tópico importante, pois os diferentes formatos existentes de robôs podem gerar problemas de confiabilidade, no sentido de integridade física da pessoa, e também o conforto de estar em um ambiente junto com um robô.

Para mitigar esse problema, vários fatores devem ser analisados. Fatores como o perfil comportamental do indivíduo nesses ambientes e também as características físicas do robô. Todas essas informações são consideradas para que o robô possa predizer quais são as melhores ações de interação com um determinado indivíduo. Apesar de simples a descrição do problema, a sua solução embarcada em robôs é algo mais complexo. Deve-se considerar a coleta e o processamento de todas essas informações para a tomada de decisão correta, o que em muitas vezes é necessário de sensores instalados no ambiente, extra robô.

Considerar todos os fatores apresentados é uma tarefa complexa e que gera um custo muito alto ao robô pois, sua infraestrutura tem uma capacidade computacional baixa em muitas ocasiões. Sendo assim, é necessário que exista uma arquitetura de sistema capaz de considerar a captura de todas as informações, o processamento e a comunicação entre todos os sensores distribuídos no ambiente e também presentes no robô responsável pela interação.

1.3 Justificativa

Durante os estudos de trabalhos que realizam a análise de comportamento humano através de robôs aplicados principalmente em robótica social, notou-se que existem poucos estudos de aprendizagem desse comportamento para promover a reação do robô na interação. Além disso, a maioria dos trabalhos não possui uma alimentação automática das informações de comportamento, e os robôs utilizados em grande parte das vezes são teleoperados, ou seja, controlados por algum tipo de controle remoto.

Assim, a criação de um processo que seja capaz de fazer com que o robô possa, de maneira autônoma, aprender como interagir e tomar a decisão sobre qual a forma de reagir durante a interação, é importante para que haja uma evolução dos ambientes inteligentes, que consideram o robô um agente inserido nele. Assim é possível, além da evolução dos ambientes inteligentes, manter o indivíduo com a melhor experiência de interação com o robô e também sentir confortável com a presença do robô no mesmo ambiente de convivência.

1.4 Metodologia

A pesquisa desenvolvida neste trabalho mantém como base os problemas de interação que são apresentados ao longo da introdução desta tese buscando sempre a qualidade na interação entre o indivíduo e o robô. A fundamentação do trabalho foi realizada em pesquisas de cada uma das áreas abrangentes, Interação Humano-Robô utilizando o conceito de *Proxemics* e Raciocínio Baseado em Casos, onde identificou-se a possibilidade da criação de um processo automático de aprendizagem e também de aplicação do aprendizado durante toda a fase de interação entre os agentes, humano e robô.

Com o objetivo definido, realizou-se um estudo referente às técnicas que podem ser utilizadas em cada fase da metodologia de Raciocínio Baseado em Casos, para um melhor armazenamento de situações e também a melhor tomada de decisão para cada situação atual. Além disso, também é realizado a definição do conjunto de variáveis que são considerados mais adequados, tanto referente ao indivíduo quanto ao robô, que possam apoiar todo o processo de interação humano-robô.

Definidos os conjuntos de variáveis e também a implementação das técnicas de cada uma das etapas do Raciocínio Baseado em Casos, são realizados alguns testes preliminares de interação do robô para coletar a base de dados inicial e análise prévia dessas informações. Na sequência dos testes aplicados com indivíduos de diversos perfis comportamentais e demográficos são realizados. O primeiro teste é relacionado a primeira abordagem de interação e o segundo teste está relacionado com alguma tarefa das regras atuais da Robocup@Home (BEEK et al., 2015).

Realizados os testes, os resultados serão analisados e discutidos realizando a validação do processo de aprendizagem do robô para interação com pessoas.

1.5 Estrutura do Trabalho

Esta tese é composta por um total de 7 capítulos discriminados a seguir.

O capítulo 1 apresenta a **introdução** do trabalho conduzindo o leitor ao problema que a pesquisa desta tese deve contribuir para a mitigação.

O capítulo 2 apresenta o conceito de **Interação Humano-Robô** com foco na análise comportamental chamada ***Proxemics***.

O capítulo 3 apresenta o conceito da metodologia de aprendizado de máquina **Raciocínio Baseado em Casos** que auxiliará na base da solução do problema apresentado por esta tese.

O capítulo 4 apresenta a **proposta** da solução para o problema apresentado por esta tese.

O capítulo 5 apresenta os **cenários de teste** que serão realizados para a validação da proposta desta tese.

O capítulo 6 apresenta os **resultados esperados** por esta tese.

O capítulo 7 apresenta as **conclusões parciais** observadas ao longo dos estudos para essa tese.

O capítulo 8 apresenta o **cronograma** para conclusão desta tese.

2 INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ

Interação Humano-Robô (IHR) é a área de estudo que procura compreender, avaliar e implementar os robôs para que possam trabalhar em conjunto ou para o ser humano onde a interação seja menos invasiva e mais colaborativa. O primeiro guia da IHR apareceu em um trabalho de ficção científica de Isaac Asimov, que apresentou as primeiras leis da robótica. A primeira lei fala que um robô não pode ferir um ser humano e também deve proteger-lo para que nenhum mal o seja causado. A segunda lei diz que um robô deve obedecer as ordens dadas por seres humanos exceto nos casos que as ordens entrem em conflito com a primeira lei. E por fim a terceira lei diz que um robô deve proteger sua própria existência desde que não entre em conflito com a primeira e/ou segunda leis. Essas leis regem os trabalhos voltados a IHR até nos dias atuais (GOODRICH; SCHULTZ, 2007; WEISS, 2010).

Qualquer tipo de robô necessita de interação, mesmo os completamente autônomos. A interação pode ocorrer de duas maneiras específicas: Interações Remotas (robôs e humanos estão em diferentes locais espaço-temporais), por exemplo, a operação do robô Curiosity¹ em Marte e a NASA aqui no planeta Terra; Interações Próximas (robôs e humanos estão em um mesmo local, compartilhando o mesmo espaço), por exemplo, em indústrias ou residências como o robô Roomba (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

Robôs teleoperados devem ser guiados por controles, como *joysticks*, por exemplo. Já os robôs completamente autônomos devem consistir o ambiente, o cenário de atuação, os seres humanos que existem no ambiente e os que estão direcionando-o para o seu objetivo final, além de atualizar constantemente informações sobre o ambiente e suas restrições. Muitos trabalhos são direcionados a interação através de um controle ou central de comando com a operação de um ser humano, mas a quantidade de trabalhos com robôs autônomos vêm crescendo principalmente em pesquisas de robótica assistiva e/ou robótica para resgate em catástrofes, onde existe riscos à vida de seres humanos que procuram por vítimas (GOODRICH; SCHULTZ, 2007; WEISS, 2010).

IHR é um estudo que necessita da participação de diversas outras áreas de pesquisa, como Ciências Cognitivas, Linguística, Psicologia, Engenharia, Ciências da Computação, Matemática, Engenharia dos Fatores Humanos e Design. Além disso, é importante o estudo de padrões de interação para que sejam adotados pequenas perspectivas sobre soluções de pro-

¹https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html

blemas com interação, tornando mais fácil encontrar uma solução a algum problema que seja recorrente (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

A interação pode ser definida pela atividade de trabalhar em conjunto para atingir o mesmo objetivo. A IHR afeta cinco fatores de interação, que são: (I) Nível e comportamento de autonomia; (II) Troca natural de informação; (III) Estrutura do time; (IV) Adaptação, aprendizado e treinamento de pessoas e robôs; e (V) Definir as tarefas. Um robô que possui um grande grau de autonomia é aquele que consegue permanecer desatento por um longo período de tempo sem realizar nenhum tipo de interação. Contudo em IHR a autonomia não é considerada com um resultado final, mas é um meio que auxilia no processo de interação (GOODRICH; SCHULTZ, 2007; WEISS, 2010).

O nível de autonomia de um robô determina o quanto esse pode agir por sua própria conta. Existem diversas formas de medir e analisar esse nível. O mais utilizado é a escala de Sheridan (SHERIDAN; VERPLANK, 1978) que apresenta um intervalo contínuo desde de um robô que não realiza nenhuma tarefa por conta própria, ou seja, um robô teleoperado até um robô totalmente independente e autônomo. Apesar do grande uso da escala de Sheridan, sua aplicabilidade ao cenário completo pode não ser muito eficiente sendo melhor aplicado em subtarefas (GOODRICH; SCHULTZ, 2007; WEISS, 2010).

Em IHR o nível de autonomia pode ser melhor determinado por uma combinação entre o nível de interação entre humano e robô e o quanto ambos conseguem realizar as tarefas de forma independente. O desenvolvimento de habilidades cognitivas é importante para o robô interagir com o humano de maneira natural e eficiente. Nos anos 80, Brooks apresentou um novo paradigma para autonomia de robôs, conhecida com robôs baseados em comportamento (BROOKS, 1986; BROOKS, 1991). Outro modelo chamado de *sinta-pense-aja* também é apresentado na literatura como uma arquitetura híbrida que apresenta um problema de desenvolver comportamentos que sejam natural e atividades robustas para robôs humanoides. Devido a isso, as áreas que trabalham no modelo cognitivo de aprendizagem e tomada de decisão tem crescido cada vez mais (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

Contudo, o estudo de interação entre humanos e robôs não se limita apenas ao nível de autonomia do robô. Modelos cognitivos, aplicações em ambientes sociais e principalmente em ambientes de cuidados médicos pessoais, têm se tornado cada vez mais frequentes nos novos estudos. Giovannangeli e Gaussier (2007) apresentam um modelo de IHR onde o robô é capaz de aprender tarefas a partir de uma pessoa realizando o papel de treinador, onde o robô reproduz seus movimentos e consegue armazená-los para situações futuras. A teoria da mente também é aplicada em trabalhos de IHR. Ela auxilia o robô na análise do comportamento de um indivíduo

e possibilita a tomada de decisão para uma interação próxima a natural (HIATT; HARRISON; TRAFTON, 2011).

Outro fator importante para IHR é a aparência do robô em conjunto com a capacidade de execução de tarefas esperada para àquela aparência. Dessa maneira, Minato et al. (2007) apresentam uma plataforma robótica em formata de uma criança, mais precisamente um bebê, para realizar estudos de interação e principalmente a capacidade da cognição do robô durante a interação. Um outro modelo é apresentado nos estudos de IHR com o objetivo principal voltado para o mapeamento e análise do comportamento humano. Este modelo tem como sua essência a teoria de *Proxemics*, que serve de base para essa tese e é apresentada em detalhes na seção 2.1, a seguir.

2.1 *Proxemics*

As pessoas, quando convivem em sociedade, tendem a respeitar o espaço existente entre cada indivíduo. Esse fenômeno é determinado como espaço social, sendo este medido através da distância social que é um dos princípios fundamentais para uma interação social com qualidade (HALL, 1969; HENKEL et al., 2014). A análise do comportamento das pessoas e a relação entre a distância social entre os indivíduos foi definido por Hall (1969) como *Proxemics*. *Proxemics* então pode ser definido com o processo dinâmico de interação entre dois agentes de tal forma, que eles fiquem posicionados frente a frente e de maneira próxima (MEAD; ATRASH; MATARIĆ, 2011a).

Durante os estudos de Hall (1969), observou-se que a questão da distância social está diretamente ligada a cultura de cada indivíduo. Isso quer dizer que a percepção dessa distância entre pessoas que viveram em regiões distintas poderá ser diferente. Por exemplo, uma pessoa que vive no Brasil pode não se importar com o indivíduos muito próximos a ele. Em contra partida, a pessoa que vive no Japão talvez tenha preferência por manter uma distância maior entre ele e as demais pessoas durante o processo interação.

Apesar da observação sobre a questão cultural, Hall (1969) não formalizou nenhuma regra sobre a distância social para interações entre indivíduos. Com o intuito de formalizar regras sobre a distância social para interações entre indivíduos, Argyle (1988) definiu quatro zonas de proximidades, são elas: (I) Zona de Proximidade Pública; (II) Zona de Proximidade

Social; (III) Zona de Proximidade Pessoal; e (IV) Zona de Proximidade Íntima. A figura 1 ilustra a definição de Argyle (1988) para formalizar o espaço social.

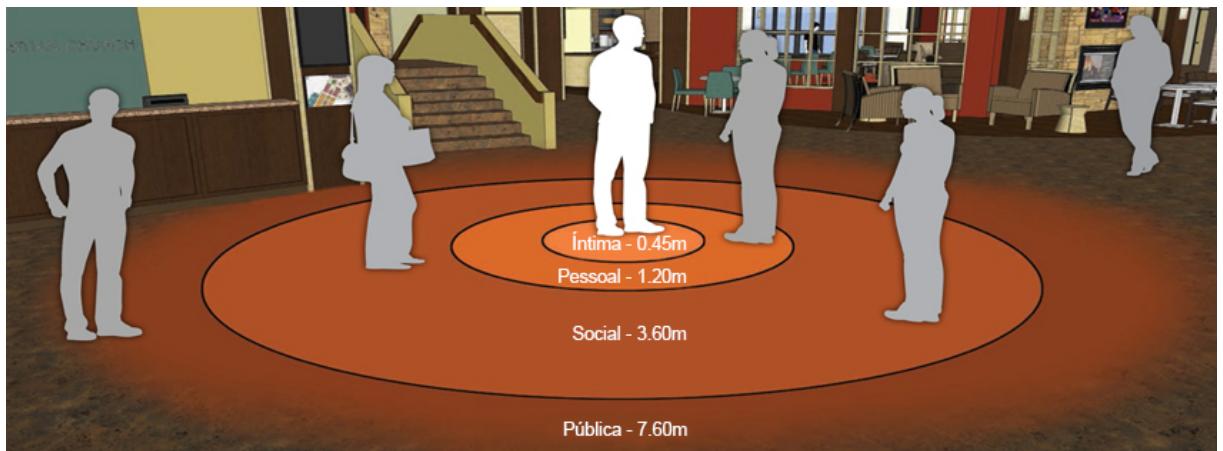


Figura 1 – Zonas de Proximidades definido por Argyle (1988).

Cada uma das zonas de proximidades apresentadas na figura 1 possui características particulares que pode guiar como ocorrerão as interações sociais. Na zona de proximidade social, o indivíduo pode emitir sons com um volume maior do que a zona de proximidade íntima que, por estarem muito próximos os indivíduos acabam se comunicando quase com sussurros. Interações na zona íntima são esperadas normalmente entre amigos muito próximos ou entre casais (HALL, 1969; ARGYLE, 1988). O comportamento aceitável em zonas de proximidades mais distantes, como a social e a pública, é a comunicação com uma intensidade dos movimentos mais amplos e com uma força física maior que nas regiões mais próximas, onde há uma probabilidade maior de assustar o indivíduo com esse tipo de comportamento (HENKEL et al., 2014).

Além dos comportamentos diferentes em cada zona de proximidade, existe um outro fator que pode atrapalhar a interação exclusiva entre duas pessoas nas regiões mais distantes. A existência de muitas pessoas ao redor das regiões mais distantes pode dificultar o estabelecimento uma interação exclusiva devido ao excesso de ruído no cenário. O ruído para esse cenário pode ser considerado através do volume excessivo de pessoas no local, junto com a altura dos sons emitidos e além da quantidade de gestos que cada indivíduo realiza simultaneamente (WALTERS et al., 2009; HENKEL et al., 2014).

Entretanto, não é apenas o espaço social que as *Proxemics* se referem na análise comportamental. Algumas variáveis que são utilizadas para a leitura corporal também são utilizadas para a análise comportamental através das *Proxemics*. Mead, Atrash e Matarić (2013) lista algumas variáveis consideradas em seu trabalho, além da distância social, são elas: (I) orientação da postura; (II) orientação do quadril; (III) orientação dos ombros; (IV) posicionamento e ori-

entação da cabeça; e (V) fixação do olhar entre os indivíduos. Todas as variáveis apresentadas por Mead, Atrash e Matarić (2013) auxiliam a determinar a qualidade da interação social entre dois indivíduos, agentes ou entre robôs e humanos.

Proxemics tem sido explorado em trabalhos de interação humano-robô (IHR) desde 1997, somando aproximadamente 25 trabalhos ao todo (HENKEL et al., 2014). Assim, a próxima seção apresentará os trabalhos relacionados que abordam o tema da *Proxemics* e as discussões sobre como eles auxiliam o trabalho apresentado nessa tese.

2.1.1 *Proxemics* e Interação Humano-Robô

Nessa seção são apresentados os trabalhos de *Proxemics* aplicados a interação humano-robô (IHR), como o trabalho de Walters et al. (2009) que propõem um *framework* empírico com o objetivo de auxiliar a detecção da distância real, ou seja, a distância considerando fatores diversos da IHR.

Alguns fatores de impacto na IHR foram apresentados por Walters et al. (2009) na discussão de seu trabalho. Um dos fatores explorados foi o impacto dos sons emitidos pelo robô durante a interação, ou seja, a voz do robô. A voz não causa impacto apenas pelo volume que é emitida, mas também o estilo dela que pode influenciar uma vez que é possível inferir emoções a partir do estilo em que a voz é emitida. Além disso, a voz também pode influenciar no tempo de aproximação entre o robô e o individuo, pois dependendo de como o som é emitido pode gerar insegurança ao individuo que está interagindo com o robô (WALTERS et al., 2009).

Fatores como a aparência do robô e informações demográficas como idade, gênero, grau de instrução, personalidade, carisma, entre outros também podem interferir na IHR. Por exemplo, as pessoas preferem manter uma distância maior dos robôs que possuem uma aparência humanoide, pois ela causa um pouco de preocupação sobre as ações dele, quando comparado a um robô com aparência mais mecânica. Entretanto, a altura do robô não é um fator que apresenta grande relevância para IHR (WALTERS et al., 2009).

Outro trabalho, apresentado por Torta et al. (2011), tem como objetivo a apresentação de um arquitetura para robótica baseada em comportamento que permite ao robô navegar em segurança por um ambiente doméstico mutável e consiga codificar interações não verbais de maneira embarcada. Dessa maneira, é possível fazer com que o robô possa apresentar o com-

portamento de aproximação adequado ao seu objetivo, utilizando um novo modelo de espaço pessoal.

Esse novo modelo considera a relação entre a orientação do robô em conjunto com a distância do objetivo e ainda a avaliação do indivíduo para a orientação de aproximação do robô (TORTA et al., 2011). Para alcançar esse objetivo Torta et al. (2011) utilizaram um filtro Bayesiano para inferir a localização do objetivo a partir da posição do robô de maneira dinâmica. O filtro Bayesiano é utilizado como guia para o robô em seu algoritmo de navegação.

Nos testes utilizou-se o robô NAO e obteve a validação de que a inclusão do espaço pessoal no algoritmo de navegação trouxe resultados positivos ao modelo implementado. Em estudos futuros, Torta et al. (2011) incluirão outros fatores ao cenário de IHR, como a altura do robô, a aparência e o propósito da interação, e a partir dessas novas variáveis identificar como é possível melhorar a interação de tal forma, que esse modelo obtenha uma qualidade maior em sua aplicação (TORTA et al., 2011).

A aplicação de *Proxemics* não é exclusiva a robótica social ou doméstica, Srinivasan, Henkel e Murphy (2012) aplicam o conceito para o cenário de resgate de vítimas. O trabalho apresentado tem como objetivo avaliar a utilização do olhar social com movimentos de cabeça e funções escalares de *Proxemics* para auxiliar na aproximação e trabalho em regaste de vítimas em centros urbanos.

Nesse cenário o robô deve manter a vítima calma, tranquila, com pensamentos positivos e cuidar dela, na medida do possível, até que o resgate consiga acesso ao local para que o trabalho de extração seja realizado com sucesso (SRINIVASAN; HENKEL; MURPHY, 2012). Dois cenários de simulação foram utilizados para validar o método proposto por Srinivasan, Henkel e Murphy (2012). No primeiro cenário observou-se como a vítima correspondia a medida que o robô gesticulava com a cabeça durante a interação comparado ao robô totalmente estático. O movimento da cabeça foi programado para ficar sincronizado com a fala do robô de tal forma, que seu comportamento ficasse próximo a um comportamento natural. Neste primeiro cenário, foi validado a hipótese de que o usuário prefere o robô que tem o movimento social (gesticulação da cabeça) ao invés do robô que permanece totalmente estático durante a interação.

No segundo cenário de simulação, utilizou-se funções escalares para definir a aproximação do robô junto à vítima. Nessa aproximação são consideradas as quatro regiões de proximidades, apresentadas na figura 1, para determinar a interação com a vítima. Foram comparadas três tipos de funções: (I) Logarítmica; (II) Linear; (III) Não escalar. Nos testes os melhores resultados foram obtidos através da função logarítmica, seguida pela função linear e depois a função não escalar (SRINIVASAN; HENKEL; MURPHY, 2012). Dessa forma, Srinivasan,

Henkel e Murphy (2012) esperam melhorar a abordagem com robôs à vítimas de desastres em cenários de centros urbanos.

Okita, Ng-Thow-Hing e Sarvadevabhatla (2012) realizaram um estudo para identificar quais fatores mais auxiliam na redução da distância física entre o robô e o ser humano. Foram utilizados dois tipos de abordagem para os testes realizados: (I) Robô com a iniciativa de se aproximar do ser humano; e (II) Humano com a iniciativa de se aproximar do robô.

Para o teste de ambos cenários foram utilizados dois tipos de indivíduos, separados em dois grupos diferentes, crianças e adultos. Na execução do teste, Okita, Ng-Thow-Hing e Sarvadevabhatla (2012) utilizaram o método chamado de *Wizard of Oz* (WOZ) que permite operar o robô através de um controle remoto distante da vista do indivíduo em interação. Dessa forma, é possível passar a impressão de que o robô é autônomo e ao mesmo tempo ter o controle dele para que não ocorra nenhum acidente durante a interação.

O experimento foi executado de duas maneiras diferentes sendo uma o robô aproximarse sem nenhum tipo de aviso prévio e a outra maneira era exatamente avisar sua aproximação. Observou-se que quando o robô solicitava a permissão para aproximar do indivíduo o resultado sempre era positivo para a interação, quando comparado à aproximação sem aviso ou com aviso posterior a ação do robô (OKITA; NG-THOW-HING; SARVADEVABHATLA, 2012).

Muitos trabalhos apontam maneiras de aplicar o estudo de *Proxemics* em interações sociais. Algumas variáveis que podem afetar a interação são funções interpessoais de relacionamento, fatores fisiológicos moldados pela cultura de origem de um indivíduo, perspectivas etnológicas, além de informações sobre o ambiente de interação, como a luz ambiente, localização e ocupação física do agente, tamanho, entre outros fatores (MEAD; ATRASH; MATARIĆ, 2011a).

Com a facilidade de compra dos sensores de captura de movimento não invasivo como o Microsoft® Kinect® ou o PrimeSensor®, os pesquisadores Mead, Atrash e Matarić (2011a) apresentam em seu trabalho um conjunto de métricas que são capazes de auxiliar na automação do processo de análise do comportamento para distância social. As métricas por eles estabelecidas são: postura, posição do quadril, do ombro, do torso, dos braços, distâncias entre os agentes, gênero, entre outros.

Com base nas métricas definidas foi realizado um estudo conceitual para verificar se o cenário com um Kinect® inserido no ambiente, fosse capaz de capturar todas essas informações para que a partir delas torna-se possível a criação de um mecanismo de análise automática do comportamento de agentes em um ambiente de interação social. Os testes preliminares

ocorreram conforme o esperado, possibilitando a validação do cenário apresentado por Mead, Atrash e Matarić (2011a).

Um cenário e ferramenta para coleta de informações sobre indivíduos em interação social são apresentados também por Mead, Atrash e Matarić (2011b). O principal objetivo é utilizar as informações coletadas em estudos futuros. Essas informações serviram para a criação de um modelo oculto de Markov (*Hidden Markov Model* (HMM), em inglês) com seis classes para auxiliar na predição das *Proxemics* de interação face a face. Nesse estudo, o HMM demonstrou-se com um desempenho superior para a tarefa de predição, quando comparado com um classificador aleatório ponderado por pesos (MEAD; ATRASH; MATARIĆ, 2011b).

Mead, Atrash e Matarić (2012) apresenta uma discussão sobre os tipos de representações para *Proxemics*. Essas representações são: física e psicológica. Além desses dois tipos é proposto uma representação psicofísica que apresenta uma abordagem permitindo unir melhor as qualidades dos outros dois tipos de representação. A representação física tem como objetivo analisar como o espaço social é ocupado por dois indivíduos e é a abordagem mais comum em estudos de *Proxemics*, tanto para interações humano-humano quanto para interações humano-robô. A representação psicológica mantém o foco em fatores de relacionamento interpessoal de alto nível entre dois ou mais indivíduos. Esse fatores estão relacionados a teoria de conflito afiliativo (ARGYLE; DEAN, 1965) e também a teoria de adaptação interpessoal (BURGOON; STERN; DILLMAN, 2007).

Porém, com as lacunas existentes nesses dois tipos de representação de *Proxemics*, foi proposto o tipo psicofísico. Esse tipo de representação tem como objetivo principal analisar a percepção e a produção de estímulo social entre dois ou mais indivíduos interagindo. A abordagem psicofísica é discutida também por Hall (1969). Essa representação está diretamente ligada com a experiência sensorial do estímulo social até os parâmetros espaciais de maneira física. A partir da representação psicofísica é realizado um estudo para capturar informações que servirão de base para treinamento de dois HMM. Cada HMM é responsável por uma exclusiva tarefa, início da interação ou término da interação. Essa representação deve auxiliar nas pesquisas de interação humano-robô, no intuito de que seja possível realizar uma análise para a interação ocorrer com maior qualidade (MEAD; ATRASH; MATARIĆ, 2012).

Outro trabalho de Mead e Matarić (2012) apresenta um mecanismo de análise comportamental através da *Proxemics*. Utiliza-se modelos probabilísticos de tal forma, que seja possível determinar alguns comportamentos dos indivíduos durante uma interação. Como métrica de proximidade utilizou-se a estratégia do mundo de grades para prever a distância aproximada

entre o robô e o individuo. Esse trabalho é implementado através de uma rede Bayesiana dinâmica como uma melhora para o mecanismo (MEAD; MATARIĆ, 2012).

Conforme tem sido discutido ao longo dessa seção, para que a interação entre um humano e um robô possa ocorrer de maneira confortável e com qualidade, é necessário que o robô entenda as variáveis de espaço social. Além disso, é necessário também que ele possua o controle sobre essas variáveis de tal forma, que ele consiga tomar decisões sobre as ações que executará (MEAD; MATARIĆ, 2013).

Mead e Matarić (2013) apresentam um estudo baseado principalmente com variáveis de voz e gestos, utilizando um método de amostragem que tem como entrada a postura do indivíduo ao interagir com o robô. A maior contribuição esperada por Mead e Matarić (2013) é a apresentação do entendimento obtido através das interações pré culturais que estão inseridas junto ao estudo de *Proxemics*. O resultado apresentado é apenas uma base de dados para investigar todos os aspectos da interação humano-robô apresentadas no trabalho (voz e gestos).

A partir da base de dados gerada por Mead e Matarić (2013), é apresentado outro trabalho onde Mead, Atrash e Matarić (2013) discutem a utilização de um HMM para extração de características comportamentais espaciais do ser humano, em outras palavras, *Proxemics*. Alguns fabricantes de sensores de movimentos, como o Microsoft® Kinect® e o ASUS® Xtion, têm pesquisado técnicas para aprimorar o estudo das distâncias sociais e também seus significados.

Com base nesses estudos, Mead, Atrash e Matarić (2013) analisam a possibilidade de automatizar o processo de análise das *Proxemics*. A intenção do trabalho é extrair variáveis para que seja, então, possível determinar o início e o fim de uma interação social através de um HMM. Para realizar os experimentos foram necessários dois indivíduos e um robô aplicados a um cenário de interação, onde os indivíduos se aproximam do robô sendo que os indivíduos estão separados por uma parede. Os resultados são apresentados em relação ao ponto de vista físico e psicológico. Na detecção das variáveis que representam as *Proxemics* de maneira dinâmica, Mead, Atrash e Matarić (2013) consideram os resultados satisfatórios e como sequência do trabalho é mantido o foco em interações com fatores psicológicos complexos, para aprimorar a precisão do *framework* criado.

Mead e Matarić (2014) direcionam o foco de seu trabalho para a análise de conversa social e gestos, tanto na questão de produção das conversas e gestos de maneira automática quanto para o reconhecimento, aplicados em interações humano-humano e humano-robô. Todo o trabalho realizado está relacionado com o estudo de *Proxemics* na interações sociais, uma vez

que essas tem o objetivo de não só identificar as variáveis, mas também de interpretar, manipular e compreender a dinâmica do comportamento espacial dentro do cenário das interações sociais.

Os estudos e experimentos sociais realizados por Mead e Matarić (2014) auxiliaram na coleta de informações sobre o volume da fala de acordo com a distância, além dos gestos que necessitam de espaços maiores para execução sem prejudicar a interação. Os resultados apresentados apontam que a distância de interações entre humanos é menor que a distância da interação entre um humano e um robô. Além disso, os resultados obtidos não são aplicados à múltiplas culturas (nesse caso origem dos indivíduos), e isso deve ser realizado em outros trabalhos segundo Mead e Matarić (2014). Um mecanismo para personalizar o tratamento que o robô terá com o indivíduo durante a interação também é algo que deve ser construído ao longo dos trabalhos futuros.

Analizando a diferença de cultura para variáveis de *Proxemics*, Eresha et al. (2013) apresentam como objetivo do trabalho a avaliação do comportamento de indivíduos ao se encontrarem com dois robôs interagindo entre si e caminhando em direção ao indivíduo de tal forma que este possa também interagir ou não com os robôs conforme se aproximam. Além de avaliar o comportamento dos indivíduos durante a interação com os robôs, Eresha et al. (2013) adicionaram a variável de cultura ao estudo. O objetivo é identificar como é a diferença de comportamento entre culturas diferentes. Foram escolhidos participantes de origem árabe e alemã para o estudo.

Nos experimentos, Eresha et al. (2013) utilizaram dois robôs NAO que se posicionavam a 40 cm de distância entre eles e caminhavam até ficarem a uma distância diagonal de 85 cm do indivíduo. Para o experimento houve a participação de 24 indivíduos, 12 árabes e 12 alemães, sendo metade do gênero feminino e a outra metade do gênero masculino. Os testes apresentaram resultados interessantes, pois alguns indivíduos não reagiram como o esperado para pessoas de sua origem e muitas vezes o comportamento social na interação era idêntico entre alemães e árabes. Outro ponto apresentado por Eresha et al. (2013) é que durante os testes dois alemães apresentaram o sentimento de medo de serem atacados fisicamente pelos robôs.

O trabalho de Eresha et al. (2013) apresenta indícios de que as variáveis de *Proxemics* não estão ligadas a cultura do indivíduo, como origem, mas sim na experiência cultural que este teve ao longo de sua vida. Dessa maneira, pode-se dizer que *Proxemics* são variáveis extraculturais, porém é necessário realizar um tratamento para esse tipo de condição de tal forma, que o robô possa interagir com mais qualidade com pessoas que possuem diferentes experiências culturais.

Henkel et al. (2012) investigam características entre diversas plataformas de teste para interação humano-robô, e com base no resultado deste estudo é realizado a proposta de uma nova plataforma de testes. A nova plataforma foi desenvolvida, pois Henkel et al. (2012) alegam que não existe nenhuma plataforma de teste capaz de atender aos seis atributos de dependência das *Proxemics*. Os atributos são: (I) movimento afetivo; (II) leitura das *Proxemics*; (III) interação de voz; (IV) manipulação do estilo de áudio; (V) controle do olhar; e (VI) apresentação de conteúdo através de mídia, por exemplo, monitor ou leds.

A plataforma é constituída por uma cabeça feita com um monitor de 7”, junto com um encaixe construído para ser acoplado em qualquer base de robôs já existentes no mercado. Alguns testes que foram realizados no cenário de resgate à vítimas demonstram que as pessoas que tinham a zona de espaço social íntimo invadida por qualquer parte do robô sem uma interação prévia ficavam em situação de *stress* elevado. Essa reação foi totalmente oposta quando o robô iniciava com qualquer tipo de interação antes de realizar a aproximação do indivíduo (HENKEL et al., 2012). O primeiro contato antes da aproximação para uma interação maior é importante, pois esse comportamento pode definir o quão confortável a interação entre os agentes será e esse comportamento deve ser explorado durante a execução dessa tese.

Em outro trabalho, Henkel et al. (2014) apresentam duas funções escalares para avaliar os valores de proximidade entre humanos e robôs. As funções escalares são comparadas com outras funções não-escalares e também entre si de tal forma, que seja possível uma tomada de decisão em tempo de execução da ação/interação. As duas funções escalares apresentadas são: (I) logarítmica; e (II) linear.

Os testes foram executados no cenário de regaste à vitimas. Quando a função logarítmica foi aplicada, os resultados apresentados foram melhores do que os obtidos com as demais funções. Como o principal objetivo de Henkel et al. (2014) é generalizar o método para outros cenários, eles pretendem realizar testes do modelo em outras situações e também utilizando outros tipos de robôs para sustentar melhor a hipótese. Os estudos prévios realizados demonstram que a generalização do modelo é possível.

A integração social do robô com os ambientes que envolvem cenários de cuidados médicos, construção, educação, serviço públicos, entre outros pode ser a chave de sua aceitação por parte dos seres humanos. Um dos caminhos para conseguir esse objetivo é fazer com que o robô saiba ter um comportamento adequado de interação em cada um desses cenários, assim como o que já é demonstrado em filmes de ficção científica. Dessa maneira, é possível fazer com que os seres humanos utilizem o próprio senso social para identificar essas habilidades no robô, quebrando um pouco o medo de interagir com ele (HEENAN et al., 2014).

Como primeiro passo para que a interação ocorra naturalmente entre o ser humano e o robô, Heenan et al. (2014) acreditam que deve haver sempre uma saudação entre ambas partes logo ao primeiro contato. Esse tipo de comportamento pode ser fundamental para que haja uma aceitação social do robô entre as pessoas. Durante uma saudação existem diversos fatores que são analisados implicitamente pelo ser humano, como nuanças de comunicação não verbal, vocalização das palavras e a distância inter pessoal. Esses fatores devem ser considerados ao projetar uma saudação por parte do robô, fazendo com que seja possível o robô iniciar a interação.

Fazer com que um robô realize uma saudação natural não é uma tarefa muito fácil. Deve ser considerado que um robô não tem a mesma capacidade de identificar as nuanças sociais com a mesma velocidade de um ser humano. Outro ponto negativo é que o robô possui o lado mecânico limitado, quando comparado a musculatura do ser humano. Assim, o primeiro objetivo do trabalho de Heenan et al. (2014) é definir um subconjunto exato de elementos de uma saudação social que possa ser articulado pelo robô durante a tarefa e ainda como implementar as sutilezas do comportamento da interação de saudação social.

Os testes executados demonstram que a saudação é um ponto importante para o resultado com sucesso da interação com o ser humano. O robô NAO utilizado nos testes foi capaz de implementar ações de comportamento como o contato visual, linguagem corporal e distância social para comunicação efetiva. Apesar de algumas restrições do modelo de saudação ocorrerem devido a limitação do NAO, é possível realizar a generalização do mesmo para outros robôs (HEENAN et al., 2014).

Percebeu-se que o contato visual se apresentou como um elemento de interação social bem natural, contudo deve-se tomar cuidado para que o robô não fique encarando a pessoa constantemente, pois é gerado um desconforto para a pessoa durante o contato. Heenan et al. (2014) dizem que é possível afirmar que utilizar a saudação é importante no primeiro contato de dois agentes, além de aumentar a capacidade da interação social entre o robô e o ser humano.

Vázquez et al. (2014) apresentam um robô móvel no formato de mobília, chamado Chester, construído para realizar interações com crianças. Como o Chester é muito grande optou-se por usar um segundo robô não móvel, ao qual Vázquez et al. (2014) denominam *sidekick*. O *sidekick* é como um parceiro ou personagem secundário que auxilia as pessoas em volta a prestarem atenção no personagem principal, como por exemplo o burro da animação Shrek. O *sidekick* criado é um abajur chamado Blink. Ele fica acoplado em cima do Chester. A figura 2 apresenta a combinação dos robôs Chester e Blink.



Figura 2 – Chester e Blink os robôs apresentados por Vázquez et al. (2014).

Blink tem uma linguagem própria e apenas o Chester é capaz de entender. É como o R2D2 em Star Wars que apenas alguns personagens são capazes de compreende-lo e falar com ele diretamente. Os resultados obtidos mostram que a inserção de um *sidekick* não altera a questão de proximidade das crianças em relação ao robô, mas melhora a atenção com os elementos falantes do cenário (VÁZQUEZ et al., 2014).

Foi possível caracterizar alguns comportamentos das crianças ao interagir com os robôs. É afirmado por Vázquez et al. (2014) que o formato de mobília para robôs é plausível para utilizar em robôs que interagem com crianças, pois elas se sentem mais empáticas aos robôs. Contudo, é questionável essa afirmação. Será que o que realmente influenciou esse resultado foi o formato do robô ou foi seu comportamento durante o contato com as crianças? Provavelmente, esse é um resultado que pode ser obtido com a mistura desses dois fatores, aparência e comportamento.

Por questões de segurança os testes foram executados utilizando o método *Wizard of Oz* (WoZ), onde existe um especialista controlando o robô através de um controle de videogame, por exemplo. Foram conduzidos duas variantes do teste, são elas: (I) com o *sidekick* ativo; e (II) com o *sidekick* inativo. O especialista que controla o robô encontrava-se na mesma sala de teste, mas algumas precauções foram consideradas para que não houvesse ruído nos resultados do teste. Uma dessas precauções foi inseri-lo na sala do teste antes do mesmo iniciar para que aparenta-se que ele estava apenas trabalhando normalmente. Além disso, o controle do robô foi posicionado embaixo da mesa para facilitar a oclusão do objeto e ainda fez com que nenhuma criança notasse que o robô era teleoperado por um especialista (VÁZQUEZ et al., 2014).

Para capturar as informações de distância foi acoplado ao teto um sensor Microsoft Kinect. Ele é responsável por capturar as informações de distância entre o robô e a criança interagindo com ele. Notou-se que na maioria das vezes a criança ficava sempre de frente a face do robô e não ao seu lado ou atrás dele. Variáveis como o tempo de resposta para se afastar enquanto o robô dizia “recue” também foi considerado para identificar os resultados (VÁZQUEZ et al., 2014).

Nos resultados finais, Vázquez et al. (2014) encontraram algumas limitações do robô e também do experimento, como por exemplo, o pouco conteúdo de linguagem que o robô possui implementado para dar respostas aos participantes do teste. Outro problema encontrado foi no início e no final de interação onde outros pontos do cenário e tarefa atrapalharam a coleta de informações ou melhor o foco do caso de estudo. Devido a esse problema, a utilização de um *sidekick* deverá ser estudada com mais detalhes e realizar os testes novamente para que possa ser comprovado o real benefício dele nos resultados da interação. Resultados preliminares confirmam que o *sidekick* não atrapalha na interação entre o robô principal e as pessoas e ainda auxilia a aumentar a atenção das pessoas o que auxilia em um melhor comportamento reativo dos participantes (VÁZQUEZ et al., 2014).

Alguns estudos utilizando robôs para interagir com crianças com autismo apontam que pode apresentar reações positivas e negativas para o âmbito social. Especialistas são capazes de identificar esse tipo de avaliação através da análise dos vídeos gravados entre sessões. O objetivo do trabalho de Feil-Seifer e Matarić (2010) é automatizar esse processo de análise através do uso de robôs. Para isso foi desenvolvido um classificador heurístico para discretizar as crianças que conseguem interagir com o robô daquelas que não conseguem.

O cenário de teste é composto de uma sala, um robô totalmente autônomo com o objetivo de incentivar a interação, uma criança diagnosticada com autismo e um familiar mais próximo. Para incentivar a interação o robô deve se aproximar apresentando vocalizações de sons felizes e também esboçar um sorriso para a criança, por exemplo. Caso alguma criança se afaste do robô, ele deve esboçar uma face triste e emitir sons que demonstre a sua não felicidade (FEIL-SEIFER; MATARIĆ, 2010).

Durante os testes foram gravados vídeos e algumas marcações foram realizadas no robô, e nos pais, com o intuito de auxiliar na medida das distâncias entre a criança e o robô ou seus pais. Para realizar uma avaliação sobre esse cenário foi utilizada a seguinte heurística: Para cada trecho de tempo se a criança encontrar-se a 0,85 m dos pais ela é considerada próxima à eles. Caso ela encontra-se a 0,5 m de uma parede ela é considerada próxima a parede. Para

ser considerada atrás do robô ela deveria estar a qualquer distância, mas entre uma angulação maior que 135° e menor que -135° (FEIL-SEIFER; MATARIĆ, 2010).

A partir das informações capturadas é possível gerar o classificador onde ele análise se pelo menos 50% do tempo gasto é com as informações de comportamento negativo (mapeado pelas heurísticas), então é considerado que a criança não deseja interagir com o robô. Caso contrário, menos de 50% do tempo gasto, a criança deseja interagir com o robô. Apesar dos resultados positivos, esse classificador não deve ser considerado como regra para que haja uma maior escalabilidade do projeto e sua aplicação (FEIL-SEIFER; MATARIĆ, 2010). Esses tipos de parâmetros podem auxiliar na determinação de interação ou não interação. Dessa forma, pode-se fazer com que o robô recue ou tente uma nova abordagem, para quando a reação do indivíduo for negativa.

Outros estudos confirmam a existência de uma relação de distância social entre o robô e o ser humano, entretanto nenhum método foi proposto computacionalmente para que haja uma geração do comportamento em relação a essa distância (HENKEL; MURPHY; BETHEL, 2012). Assim, é apresentado um método escalar do comportamento do robô de tal forma, que esse comportamento baseado na distância social tenha como suporte uma lei física e duas psicológicas: *inverse-square law*, *Weber-Fechner law* e *Steven's Power law* (HENKEL; MURPHY; BETHEL, 2012).

O cenário de teste é um ambiente de desastre no qual o robô deve localizar a vítima. A interação ocorre por meio de voz sintetizada, caminhos pre definidos e controle segundo o módulo de teste WoZ. Como meio de avaliação questionários pré e pós interação são aplicados aos usuários que participam do teste (HENKEL; MURPHY; BETHEL, 2012).

Atributos primários foram determinados para que possam ser identificados alguns níveis de consistências sociais: conforto, movimentos naturais, consideração do espaço pessoal, segurança e controle próprio. Atributos secundários também foram considerados nos estudos de Henkel, Murphy e Bethel (2012), são eles: atenciosidade, empatia, felicidade, similaridade, inteligência, sensibilidade, submissão e confiança. Os resultados demonstram que todos atributos primários e apenas três secundários provaram que apresentam melhor significância para o processo. O sistema de percepção escalar provou ser melhor do que o não escalar. O modelo escalar linear apresentou o mesmo resultado que o não escalar (HENKEL; MURPHY; BETHEL, 2012).

Hemmert et al. (2013) apresentam um trabalho que tem como objetivo a aplicação dessa técnica em aparelhos de telefonia móvel. A ideia principal é fazer com que o telefone reaja de acordo com a aproximação do aparelho pela voz da pessoa. O foco principal dentre as oito

variáveis de *Proxemics* é a postura do usuário. Interações de *Proxemics* tem sido um dos modelos gerais em interação humano-computador (IHC). Entretanto, é um tema pouco explorado em telefonia móvel (HEMMERT et al., 2013).

O projeto utilizado no caso de estudo apresenta uma nova maneira de interagir com dispositivos móveis, em especial telefones, tendo como base variáveis de linguagem corporal e proximidade do indivíduo para com o aparelho. Como trabalho futuro Hemmert et al. (2013) querem apresentar um modelo que faça a leitura de diversas variáveis com o intuito de entender por completo como elas funcionam no comportamento do ser humano.

Um ponto interessante abordado por Hemmert et al. (2013) é quando ele faz referência ao uso de *Proxemics* em IHR. Geralmente os trabalhos de *Proxemics* são voltados ao comportamento de ser humano, e nenhum possui foco na reação do robô, ou seja, como esse robô reagirá caso um ser humano invada o espaço íntimo do robô sem consentimento. Esse é um ponto interessante que deve ser explorado ao longo dessa tese.

Outro ponto chave dos trabalhos apresentados ao longo dessa seção é que sempre utilizam sensores no ambiente para medir as variáveis de *Proxemics* entre a pessoa e o robô. Contudo, acredita-se que esse tipo de abordagem não é natural ao robô móvel, pois os seres humanos não tem o auxílio sendo assim o robô também não deve utilizar desses recursos. Contudo, as variáveis de *Proxemics* se mostram essenciais para determinar o sucesso de uma interação ou não, e devem ser consideradas ao longo da proposta desta tese de doutorado.

Dessa forma, todas as variáveis apresentadas nos trabalhos dessa seção são importantes para avaliar o comportamento de um indivíduo durante uma interação com robôs e até outros dispositivos tecnológicos. Na seção 4.2 são apresentados as variáveis consideradas para o desenvolvimento desse trabalho. Além das variáveis, também são avaliados os meios de captura das informações visando a aplicação do trabalho desenvolvido na tese inserido em um ambiente inteligente.

3 RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS

Raciocínio Baseado em Casos (RBC) é uma metodologia utilizada em Inteligência Artificial que constrói e utiliza um sistema de base de conhecimento criado a partir de experiências passadas. Esse tipo de comportamento é basicamente o comportamento que os seres humanos têm ao solucionar problemas similares com diferentes experiências obtidas ao longo de suas vidas (LÓPEZ, 2013).

O RBC tenta encontrar sempre uma solução, igual ou parecida com a situação atual, em sua base de conhecimento. Ao encontrar essa solução ou possível solução, o RBC tenta adaptá-la da melhor maneira à tarefa atual. Caso não seja identificado nenhum caso similar ao atual sendo a situação totalmente nova é possível inferir uma sequência de ações para o caso e armazena-la para que possa ser consultado ao longo do seu ciclo de vida (LÓPEZ, 2013).

A metodologia do RBC apresenta quatro fases principais. Essas fases são apresentadas na figura 3 (LÓPEZ, 2013).

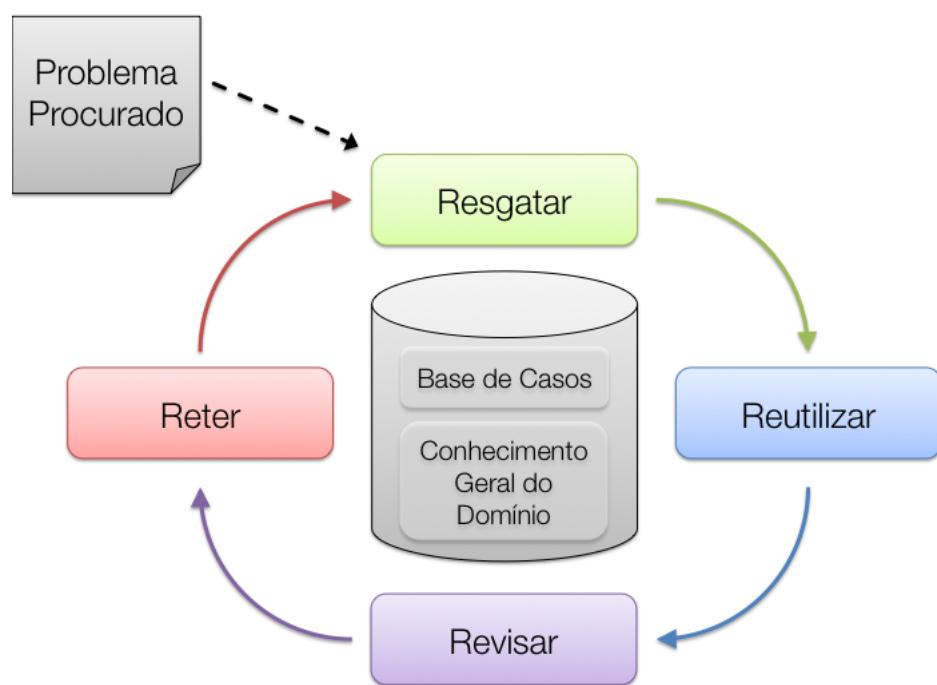


Figura 3 – Ciclo da Metodologia de um sistema de RBC.

A seguir são apresentadas as fases da figura 3 em detalhes:

- Resgatar:** Nessa fase são resgatados casos passados similares ao caso procurado. Métodos induktivos são aplicados normalmente para encontrar os casos armazenados em memória.

- b) **Reutilizar:** A partir de um conjunto de soluções similares resgatadas formam a base para a construção de uma solução ao problema procurado. A transformação que pode ser obtida nessa fase, ocorre através de generalização e especialização dos casos resgatados.
- c) **Revisar:** Verificar se a solução apresentada para o problema procurado provem ou não a saída desejada.
- d) **Reter:** Quando a solução apresenta ao problema gera uma nova experiência, esta pode ser ou não armazenada na base de casos. Para que o armazenamento seja realizado, é confrontado o valor obtido como resposta no processo de revisão do caso, junto com a política de retenção implementada no sistema.

O modelo apresentado na figura 3 é baseado no nível de conhecimento que sistema pode representar. Ele identifica todo o ciclo da metodologia de RBC, do começo ao fim. Esse modelo também é conhecido como 4R's, pois os nomes dados para cada uma das fases são iniciados com a letra R (LÓPEZ, 2013).

3.1 Classificação de sistemas de RBC

Para que sejam construídos, os sistemas de RBC consideram quatro critérios básicos que definem sua topologia (LÓPEZ, 2013): Fonte de Conhecimento, Função, Organização e Maneira de Distribuição. A tabela 1 apresenta os possíveis tipos para cada um dos critérios.

Tabela 1 – Classificação de Sistemas de RBC de acordo com sua topologia

Fonte de Conhecimento	Função	Organização	Maneira de Distribuição
<ul style="list-style-type: none"> - Textual - Estrutural - Conversacional - Temporal - Imagens 	<ul style="list-style-type: none"> - Classificação - Recomendação - Tutoria - Planejamento - Monitoramento - Gerenciamento de Conhecimento 	<ul style="list-style-type: none"> - Exclusivo - Níveis Múltiplos - RBC Híbrido - Meta RBC 	<ul style="list-style-type: none"> - Memória Única - Memória Múltipla - Agente Único - Agente Múltiplo

O primeiro atributo apresentado na tabela 1, Fonte de Conhecimento, refere-se em como é estrutura ou armazenamento do conhecimento passado no sistema. São eles (LÓPEZ, 2013):

- a) **Textual:** É uma coleção de informações em formato de texto, que devem ser lidas pelo sistema afim de identificar a solução do problema. Um exemplo são sistemas do tipo FAQ, que podem ser encontrados em diversas ferramentas e aplicativos.
- b) **Estrutural:** É definido através de um vocabulário pré definido do problema. Cada caso pode englobar uma quantidade n de variáveis, como por exemplo, um sistema médico que possui informações como idade, histórico de atendimento, índice de massa corpórea, entre outros.
- c) **Conversacional:** Nesse tipo de RBC o caso é definido maneira iterativa através de um sistema de conversa entre usuários e/ou usuário-sistema, como por exemplo, um sistema de help-desk.
- d) **Temporal:** Quando os casos possuem uma relação temporal entre si, seja essa relação implícita ou explicita. Um exemplo desse tipo de sistema é o histórico de jogo de um usuário.
- e) **Imagens:** Cada caso é obtido através do conhecimento extraído na análise das imagens armazenadas no banco de dados. Essa análise ocorre de acordo com alguns fatores relevantes ao domínio do problema e encontrados nas imagens.

O atributo Função refere-se ao objetivo de aplicação do RBC, ou seja, qual o tipo de problema que ele procura resolver. Abaixo a descrição detalhada de cada uma das funções que um sistema de RBC pode apresentar (LÓPEZ, 2013):

- a) **Classificação:** Utilizado geralmente em aplicações onde existe a necessidade de predizer uma classe ou rótulo. Pode ocorrer de duas maneiras: (I) Através da prognosis sendo feita por duas classes, uma positiva e outra negativa; ou (II) Através do diagnóstico sendo feita por um número discreto de classes para predição.
- b) **Recomendação:** Utilizado para recomendar algum tipo de produto baseado na similaridade das escolhas passadas do usuário.
- c) **Tutoria:** Utilizado para buscar uma coleção de exercícios de uma determinada disciplina e assim auxiliar o usuário.
- d) **Planejamento:** Utilizado em duas tarefas normalmente. A primeira é deixar o planejamento de um processo ou sistema mais eficiente e a segunda tarefa é realizar o raciocínio e aprendizado a nível de planejamento e não a nível da ação de execução como os demais RBC's.

- e) **Monitoramento:** Utilizado para predizer anomalias de comportamento durante a supervisão de sistemas, principalmente.
- f) **Gerenciamento do Conhecimento:** Utilizado para fontes de informação e avaliação do conhecimento, não só lembrando da experiência obtida, mas também aplicando esse conhecimento na solução de tarefas.

O atributo Organização refere-se a combinação de RBC para solução de problemas em um mesmo domínio. A Organização também pode ser encontrada como arquitetura do sistema de RBC. As quatro principais são (LÓPEZ, 2013):

- a) **Exclusivo:** Nessa configuração um único RBC é considerado para resolver o problema.
- b) **Níveis Múltiplos:** Nessa configuração é considerado um determinado número de RBC para solucionar o problema. Uma aplicação desse tipo de arquitetura é a interpretação de imagens.
- c) **RBC Híbrido:** Essa configuração é aplicada em problemas que necessitam de soluções híbridas ou complementares. Um exemplo de aplicação é o sistema que realiza o diagnóstico de uma doença combinado com outro sistema que realiza o planejamento para o tratamento dessa doença.
- d) **Meta RBC:** Essa configuração é utilizada quando existe vários sistemas de RBC que necessitam ser aplicados à um único domínio e é utilizado um segundo sistema RBC que verifica qual é o melhor sistema para ser aplicado dado um determinado caso.

É importante ressaltar que o RBC é uma metodologia e não uma tecnologia. Portanto, cada fase dele pode ser resolvida por diversas técnicas de Inteligência Artificial (LÓPEZ, 2013).

O último atributo que é apresentado na tabela 1 chama-se Maneira de Distribuição. Ele é caracterizado pela maneira como será feita o processamento dos casos. São classificados em dois critérios apenas: (I) Memória ou o número de casos existentes na base de conhecimento; e (II) Forma de distribuição do processamento, sendo possível em um único sistema ou em múltiplos sistemas. Dessa maneira, é obtido quatro possíveis combinações, são elas (LÓPEZ, 2013):

- a) Memória Única, Agente Único;
- b) Memória Única, Agente Múltiplo;
- c) Memória Múltipla, Agente Único;
- d) Memória Múltipla, Agente Múltiplo.

3.2 A Base de Casos ou Conhecimento

A base de casos é formada por quatro fatores principais: (I) Vocabulário; (II) Casos; (III) Medida de Similaridade; e (IV) Adaptação da Solução. Outros fatores podem ser incluídos na base de conhecimento de acordo com a necessidade do projeto ou aplicação. Ao longo dessa seção será discutido como modelar e organizar o caso na base de conhecimento (LÓPEZ, 2013).

3.2.1 Vocabulário

O vocabulário é um conjunto de termos que servem como base na formulação do caso que será inserido na base de conhecimento. Cada termo do vocabulário mantém o mesmo significado, independente da maneira como foi mapeado, para o domínio da aplicação. Em trabalhos mais recentes, verifica-se que não existe uma maneira de compreender um vocabulário sem a utilização de ontologias. Uma ontologia nada mais é que o relacionamento entre as palavras do vocabulário. Esse recurso auxilia a metodologia de RBC de tal forma, que seja possível identificar os relacionamentos entre os elementos de um caso a nível semântico (LÓPEZ, 2013).

3.2.2 Modelando um Caso

Um caso é a instância da descrição do processo que envolve o problema e a solução. Ele precisa descrever de maneira clara o problema e a sua solução de maneira separada e detalhada. Um maneira de representar um caso é através de uma tupla formada por $\langle p, s, o \rangle$, onde p é a descrição do problema, s representa a descrição da solução e o é a saída esperada da aplicação do processo. Existem diversas maneiras de descrever um problema, as principais são através de um modelo atributo-valor ou através do relacionamento entre os objetos. O modelo atributo-valor é mais simples e permite, de acordo com o peso especificado, ignorar alguns atributos na hora do cálculo da similaridade (LÓPEZ, 2013).

No modelo de relacionamento entre os objetos, os casos são visualizados como um grafo ou uma árvore mostrando a similaridade entre os casos de acordo com o grau do relaci-

onamento. Modelos mais complexos também podem ser utilizados para determinar o caminho do relacionamento. Além disso, séries e sequências também podem ser utilizadas fazendo com que o modelo fique dependente da variável tempo. Quanto aos mapeamentos referentes a solução, geralmente são utilizados algoritmos de predição ou classificação para essa tarefa (LÓPEZ, 2013).

3.2.3 Medida de Similaridade

Geralmente, utiliza-se um algoritmo que efetua a comparação de características de tal forma, que seja possível gerar um grau de similaridade, onde os valores se mantenham entre 0.0 e 1.0. Cada caso armazenado deve possuir um grau de similaridade quando comparado a outro caso da base. Para que o algoritmo chegue a esse valor de similaridade é necessário utilizar duas medidas de similaridade. A primeira medida de similaridade, conhecida como Similaridade Local, refere-se à comparação de uma única característica dos casos. Alguns dos métodos que podem ser usados aqui são (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003):

- a) **Correspondência exata:** Caso as strings sejam escritas da mesma forma. Por exemplo, “e-commerce” e “e-commerce” retorna 1.0, enquanto “e-business” e “e-commerce” retorna 0.0.
- b) **Correção ortográfica:** Ponderação entre o número de caracteres que são iguais pelo número total de caracteres. Por exemplo, “menino” e “menina”, a quantidade de caracteres idênticos: 5. Quantidade total de caracteres: 6. Portanto, a similaridade é dada por: $5/6 = 0,83$.
- c) **Contagem de palavras:** Utilizado em textos maiores. Faz um contagem por palavras idênticas nos casos comparados.
- d) **Taxa do maior substring comum:** Taxa entre a maior sequência de caracteres entre os dois casos pelo número total da consulta.

A outra medida de similaridade é conhecida como Similaridade Global. Essa similaridade gera um valor único referente à comparação de todas as características dos casos. Essas características, ou atributos, podem ter pesos, classificando-o como maior importância ou significância no domínio aplicado. Para ter maior eficiência, a busca pode ser feita em uma base de

casos indexada o que auxilia os algoritmos de busca dos casos. A equação 1 apresenta o cálculo do algoritmo *Nearest Neighbour* (vizinho mais próximo) (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003):

$$Sim(X, Y) = \frac{\sum W_i * sim(q_i, c_i)}{\sum W_i} \quad (1)$$

Aonde:

- a) W_i é o peso do atributo.
- b) $Sim(X, Y)$ é a similaridade global entre os casos X e Y .
- c) $sim(q_i, c_i)$ é a similaridade local entre o atributo q_i de X e o atributo c_i de Y .

Além das medidas de similaridade apresentadas por Wangenheim e Wangenheim (2003), pode ser utilizados diversos outros métodos para calcular a similaridade local e global entre os casos. Uma medida de similaridade utilizada entre os algoritmos é a distância euclidiana (MASIERO, 2013). Outras medidas de distância também são utilizadas para essa tarefa como a distância de Mahalanobis (MAHALANOBIS, 1936). Contudo, outras técnicas também são capazes de determinar o valor da similaridade entre os casos, como no caso da Lógica Nebulosa ou Lógica Fuzzy (LÓPEZ, 2013).

3.2.4 Adaptação da Solução

Após a definição do caso com a melhor solução de acordo com a similaridade entre os problemas apresentados, é necessário realizar a adaptação da solução do caso. Existem diversas técnicas de adaptação para a metodologia do RBC. Wangenheim e Wangenheim (2003) apresentam a lista a seguir como as principais existentes:

- a) **Adaptação Nula:** quando a solução do caso selecionado é a solução do caso buscado.
- b) **Adaptação Transformacional Substitutiva:** Quando o caso possui a mesma estrutura, esta adaptação substitui informações baseadas em regras pré-definidas.
- c) **Adaptação Derivacional:** Obtém informações sobre como um caso foi construído para que outro seja elaborado. Ou seja, nesta adaptação não se utiliza sua solução.

3.3 Revisão dos Casos

Uma solução resgatada não reflete o sucesso do caso, então inicia-se o processo de revisão desta para que seja decidido se essa irá permanecer na base de casos ou se deverá ser descartada. Para que o processo de revisão ocorra são necessárias duas tarefas. A primeira tarefa consiste na avaliação criteriosa da solução dada a partir do processo de reuso. Nessa etapa, caso seja considerada correta, a solução é armazenada na base de casos através do processo de retenção, que será discutido mais a frente (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003).

A segunda tarefa da fase de revisão é a tentativa de aprimorar a solução para que ela seja correta para o caso em questão. Para que isso seja possível, o sistema ou até mesmo o especialista deve utilizar o conhecimento específico sobre aquele domínio para alterar a solução. Dessa forma, é possível manter os casos dentro da base com todas as possíveis soluções (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003).

3.3.1 Avaliando a Solução

O processo de avaliação de uma determinada solução é dada a partir do uso parcial ou total dela no processo de aplicação em um novo caso similar. Esse processo pode ser realizado pela monitoração dos resultados da aplicação da solução no caso do mundo real, sendo a monitoração automática (através de sensores) ou através da interação do usuário a partir de um retorno sobre o quanto válida é a solução para àquele caso (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003).

Como a avaliação depende da observação da solução aplicada ao novo caso, ela geralmente ocorre em um processo apartado do sistema de RBC como um todo. Isso ocorre, pois, dependendo da situação, a avaliação pode levar alguns meses para que seja totalmente concluída. Um dos motivos é que a avaliação pode depender de um parecer especializado para ser concluída. Nessa situação, o sistema pode manter a solução na base de casos sendo que este deva permanecer com um indicador dizendo que ainda não foi avaliado (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003).

Um exemplo para a situação onde a solução demora para ser realizada é quando existe um sistema de tratamento médico onde é necessário esperar que a terapia seja concluída para di-

zer se a solução foi ou não adequada. Esse período pode levar alguns meses para que o resultado final seja alcançado, impactando diretamente no processo de avaliação da solução (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003).

3.3.2 Corrigindo as Falhas

Após o processo de avaliação é possível saber quais pontos da solução que falharam na aplicação ao mundo real ou em uma simulação. Sendo assim, torna-se factível a correção dessas falhas na solução para o caso em questão. A correção das falhas é dada através da explicação extraída no processo de avaliação da solução (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003).

As explicações das falhas ainda auxiliam na maneira como o sistema irá corrigi-las de acordo com o conhecimento sobre o domínio. No caso das falhas serem corrigidas por um especialista de maneira manual, é recomendado que este realize uma análise de todos os casos com soluções similares para que a falha não ocorra novamente no sistema. Se a correção for realizada automaticamente pelo sistema, esse deve estar programado para revisar todos os casos armazenados na base de conhecimento (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003).

3.4 Retenção dos Casos

O processo de retenção de casos nada mais é do que a inclusão de um caso novo na base de conhecimento. A ideia por trás do processo de retenção é sempre armazenar a solução de um novo problema fazendo com que a base de dados esteja sempre atualizada e em constante crescimento. Quanto maior o número de casos armazenados dentro da base, maior é considerado o poder do sistema de RBC na solução de problemas. Essa etapa é dada através de algoritmos de aprendizado de máquina. Um dos algoritmos mais utilizados são os relacionados ao aprendizado baseado em instâncias (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003).

O processo de retenção pode ser implementados em um sistema de RBC de três principais maneiras, são elas (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003):

- a) **Sem retenção de casos:** Esse é a implementação mais simples para um sistema de RBC, pois ela não possui a inclusão automática de novos casos na base de dados. Para que seja possível aplicar essa implementação é necessário possuir um conhecimento sólido sobre o domínio da aplicação do sistema. Dessa forma, o sistema não apresentará nenhum problema que já não esteja bem mapeado pelos especialistas. Um exemplo para esse tipo de sistema é uma linha de produção de um determinado modelo de veículo.
- b) **Retenção de soluções de problemas:** O tipo de aprendizado gerado por essa maneira de retenção é a mais clássica entre os sistemas de RBC. Nesse tipo de implementação toda vez que um problema é solucionado com sucesso, este é transformado em um caso da base de conhecimento. Dessa maneira, é possível expandir o conhecimento sobre um determinado domínio de aplicação do sistema de RBC. A retenção de soluções de problemas pode também armazenar as soluções que não foram satisfatórias para que essas não sejam utilizadas novamente para os problemas similares.
- c) **Retenção de documentos:** Nesse tipo de retenção o processo ocorre independentemente de um problema estar ou não solucionado. Na retenção de documentos o aprendizado e, consequentemente, a inclusão de novos casos da base ocorre sempre que um novo conhecimento sobre o domínio torna-se disponível ao sistema de alguma maneira. Por exemplo, toda vez que a descrição sobre um novo produto é disponibilizada pelo fabricante ou quando uma agência de viagens recebe informações de novos pacotes para viagens.

O aprendizado gerado através da fase de retenção de casos é considerada efetiva para o RBC, caso haja um conjunto de métodos bem trabalhado. Esse conjunto de métodos deve ser capaz de extrair conhecimento relevante sobre as experiências passadas, indexar o conhecimento para que seja possível utiliza-lo em um momento futuro e ainda integrar o conhecimento em uma estrutura existente (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003). Pode-se considerar os principais aspectos da fase de retenção os seguintes tópicos (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2003):

- a) seleção adequada da informação armazenada em conjunto com os casos;
- b) seleção da estrutura da informação;
- c) seleção da estrutura de índices para buscas futuras na base;
- d) seleção do tipo de integração a ser realizado na estrutura de conhecimento.

Com os principais conceitos de RBC apresentados, serão discutidos na seção 3.5 as aplicações de RBC em diversas áreas de pesquisa. Contudo, o principal foco das aplicações estão em Interação Humano-Robô e Robótica em Geral.

3.5 Raciocínio Baseado em Casos aplicado em Robótica

O desenvolvimento de aplicações para mundos reais são complexas, não sendo possíveis de uma observação completa do cenário e do ambiente explorado, e ainda as decisões, que devem ser tomadas em tempo real pelo agente em tarefa. Além disso, as tarefas executadas pelos agentes podem mudar a qualquer momento fazendo com que este deva mudar e ainda aprender com os novos comportamentos (FLOYD; ESFANDIARI, 2011).

Assim é proposto um *framework* chamado jLOAF (Java Learning by ObservAtion Framework) permitindo que os agentes possam aprender as tarefas no mundo real através da observação do comportamento dos especialistas. Esse *framework* permite a evolução dos agentes em diversos tipos de ambiente e aplicações. Ele faz com que os agentes aprendam o comportamento na execução de uma tarefa sem que se diga qual tarefa deve ser executada (FLOYD; ESFANDIARI, 2011).

Todas as observações realizadas pelo agente durante a interação do especialista com o ambiente são armazenadas com um caso dentro de uma base de conhecimento. Cada caso é representado por um conjunto de ações e reações entre o ambiente e o especialista que será recuperado pelo agente de acordo com a situação que ele irá encontrar no ambiente real (FLOYD; ESFANDIARI, 2011).

Para testar o *framework* foram realizados testes em quatro casos de estudo diferentes aplicados em tarefas como controle de um braço robótico, jogo de futebol simulado e o jogo de Tetris. Os resultados apresentados são interessantes, pois com o *framework* foi possível fazer com que o mesmo agente fosse capaz de aprender os diferentes domínios sem realizar nenhuma alteração no módulo de raciocínio do agente. Entretanto, existem algumas limitações no *framework*, principalmente quando a tarefa é simples e não existe mudança de domínio. Esse tipo de situação inviabiliza o uso dele, que foi preparado para ambientes e tarefas mais complexas (FLOYD; ESFANDIARI, 2011).

Em outro trabalho um algoritmo para jogos baseado em Raciocínio Baseado em Casos para auxiliar no tratamento de fisioterapia para idosos é apresentado por Hansen, Bak e Risager

(2012). O jogo utiliza um robô móvel que deve desviar-se de uma bolinha que é jogada por uma pessoa. O robô adapta seu comportamento de acordo com as habilidades apresentadas pela pessoa durante o jogo. As habilidades da pessoa são medidas através do comportamento espaço-temporal dela, ou seja, a dificuldade de deslocamento até a bolinha ou o robô.

Os resultados apresentados durante os testes foram robustos e fazem com que o robô seja uma ótima ferramenta para esse tipo de tarefa. A adaptação do algoritmo utilizando RBC demonstrou boas soluções para ajustar os desafios do jogo. Entretanto, quando a pessoa não mantém um padrão de locomoção faz com que o algoritmo falhe na tomada de decisão. Esse é o um ponto que dever ser melhorado para trabalhos futuros (HANSEN; BAK; RISAGER, 2012).

Srinivasan et al. (2006) propõem um sistema para gerar estratégias de comportamentos ofensivos e defensivos em um time de futebol de robôs. O sistema é desenvolvido utilizando a metodologia de RBC unido a um classificador Bayesiano. Cada caso da base de conhecimento é descrito como um conjunto de movimentos que representam uma jogada do time. A jogada que será realizada é escolhida com base na similaridade entre a situação de jogo atual com as armazenadas na base de casos.

No trabalho de Srinivasan et al. (2006) a composição dos casos é feita através de um vetor de características composto pela quantidade de jogadores da equipe, e também do oponente, dentro do quadrante onde a bola é localizada, além do fator que determina distância da bola até o gol. O vetor de características é comparado com os casos armazenados na base através do classificador Bayesiano que irá maximizar a escolha da melhor estratégia para o time. O classificador Naïve Bayes assume que existe uma independência condicional entre as características consideradas no vetor de características para realizar a tarefa de escolha de estratégia.

Quando a análise é feita sobre o cenário de serviço domésticos executados por robôs, pode ser obtido um intervalo amplo de tarefas no ambiente. Assim, para que os robôs sejam capazes de realizar as tarefas domésticas com destreza é necessário um mecanismo capaz de planejar com precisão cada passo a ser executado. Com esse objetivo em foco foi construído um sistema utilizando a abordagem da metodologia de RBC para um robô de serviço doméstico que torna capaz o aprendizado e ainda possui um mecanismo cognitivo de Interação Humano-Robô. O mecanismo cognitivo inclui quatro modelos para adaptação dos casos de acordo com a situação da tarefa. Os quatro modelos são: necessidades, tarefas, interações e modelo de usuários (JUNG et al., 2007).

Entretanto, para que fosse possível reutilizar e flexibilizar o uso dos casos em diversas tarefas foi necessário o desenvolvimento de uma linguagem de descrição de tarefas para o robô.

O objetivo de linguagem é chegar a um nível atômico de decisão de tal forma, que seja mais robusta o caminho escolhido pelo robô. Contudo, a aplicação de serviços domésticos é uma pequena parte na gerência de uma residência de maneira completa, mas Jung et al. (2007) acreditam que o mecanismo desenvolvido será capaz de adaptar-se de maneira precisa para as demais tarefas a serem executadas em um residência.

Tratamentos realizados para reabilitação de pacientes e também para auxiliar em programas de educação, têm utilizado cada vez mais *tablets* como ferramenta de apoio através dos aplicativos disponíveis. Entretanto as pessoas próximas dos principais usuários desses aplicativos, como pais de crianças, muitas vezes não possuem uma experiência e também não dispõem de paciência para auxiliar e encorajar o uso do aplicativo. Terapeutas especializados, que são mais indicados a acompanhar os pacientes, fazem com que seja necessário um alto nível de investimento que acaba sendo um pouco desvantajoso para os pais do paciente. Dessa forma, Park e Howard (2013) apresentam um robô que é capaz de realizar a tarefa de encorajar e auxiliar o uso de aplicativos voltados para terapia em *tablets* disponíveis no cenário mercadológico atual.

Para que isso se torne possível é utilizado a metodologia de RBC, fazendo com que o robô aprenda interagir com o aplicativo e auxilie a pessoa através de uma tela compartilhada. Os casos do RBC são armazenados e criados através de um modelo estatístico que leva em consideração as ações tomadas para realizar a tarefa. Essas ações são contabilizadas através da quantidade de eventos que são acionados na aplicação (PARK; HOWARD, 2013).

Ao longo dos testes percebeu-se que a quantidade de casos armazenados fazia com que fosse uma atividade complexa recuperar esses casos. Assim, eles foram agrupados de acordo com a tarefa que seria executada pelo robô. O desempenho do robô em relação ao tempo de execução da tarefa não foi considerado. O objetivo era fazer apenas com que o robô fosse possível de aprender as tarefas e auxiliar as pessoas. Agora como trabalho futuro deve ser melhorado o desempenho na interação social do robô e ainda transformar essa implementação em uma ferramenta que possa ser utilizada em diversos outros lugares para aplicação (PARK; HOWARD, 2013).

O trabalho de Park e Howard (2013) apresenta uma possibilidade de trabalhar com diversos meios de entrada para um caso de interação, principalmente quando considera-se que o robô é apenas mais um agente dentro de ambientes inteligentes. Isso torna-se interessante para essa tese, pois é dado como uma premissa que o robô irá consumir informações providas de sensores espalhados em uma residência para ajudá-lo a entender o comportamento do indivíduo.

Ao realizar o planejamento de um caminho que o robô deve seguir até o objetivo evitando os obstáculos é uma tarefa complexa. Esse tópico ainda é uma das principais discussões

existentes em robótica móvel. Entretanto, a complexidade dessa tarefa pode ser minimizada caso exista um conhecimento a priori sobre o ambiente ou pelo menos algumas dicas sobre como proceder em situações similares (WANG; MIN, 2013).

As abordagens mais clássicas para o problema de planejamento de trajetória não consideram nenhum conhecimento pré existente sobre o caminho a seguir. Dessa maneira, Wang e Min (2013) resolveram unir o algoritmo *modified artificial potential field* (MAPF) com a metodologia RBC para que assim fosse possível utilizar o conhecimento anterior em tarefas de exploração futuras.

Os resultados apresentados nos mostram que a técnica é capaz de encontrar o caminho ótimo, evitando os obstáculos, e o processamento computacional é simples e rápido. Contudo, ainda é necessário verificar se o mecanismo com RBC funciona corretamente em tempo real. Além disso, os mecanismos de busca dos casos devem ser aprimorados, pois estão com uma defasagem de processamento podendo gerar uma falha do RBC (WANG; MIN, 2013).

Imaginando a necessidade de ferramentas que implementam a metodologia de RBC pode-se citar uma linha de produção industrial. Nessa linha de produção existem diversos tipos de robôs que necessitam de manutenção em horas críticas. Caso isso não ocorra há um grande risco de acarretar um prejuízo caso exista a paralisação da indústria. Para que as manutenções sejam realizadas adequadamente existem diversos procedimentos, que devem ser executados, descritos nos manuais de cada equipamento. Existem milhares de manuais em cada linha de produção e para os mais diversos tipos de robô. Identificar o procedimento adequado de acordo com o problema apresentado muitas vezes é uma tarefa difícil, ainda mais levando em consideração o tempo para a tomada de decisão (CROWDER et al., 2000).

Dessa forma, Crowder et al. (2000) construíram um sistema de hipermídia unido a metodologia de RBC para que a partir de uma falha do robô ou até mesmo de sintomas prévios apresentados por ele, seja possível a execução da devida manutenção em tempo hábil para não existir prejuízo à empresa.

Em outro trabalho, (CELIBERTO JUNIOR et al., 2012) propõem a combinação do uso de RBC e Aprendizado por Reforço com Heurísticas para que possa otimizar o processo de aprendizagem durante a transferência de conhecimento entre robô em domínios diferentes porém similares. Para isso, é realizado um processo de armazenagem da política aprendida em forma de casos para alimentar a base de conhecimento. Os casos armazenados são como heurística, dependendo a situação da tarefa, para acelerar o aprendizado por reforço dos robôs em uma liga de simulação de futebol. Os testes foram executados em um jogo de futebol chamado Littman e na sequência, os casos extraídos foram utilizados no RoboCup Soccer Keepway para

verificar o quanto acelerado seria o aprendizado a partir do transferido. O novo algoritmo mesclando RBC e Aprendizado por Reforço Heurístico acelerou de forma significativa o aprendizado dos agentes entre os diferentes jogos.

Pode-se perceber ao longo dos projetos apresentados na seção 3.5 que RBC é uma metodologia que tem a possibilidade de ser aplicado tanto áreas de pesquisa e quanto na indústria. Nessa tese, o RBC tem o objetivo de armazenar características das interações entre os seres humanos e o robô, formando os casos de conhecimento. A partir dos casos é possível realizar um processo de aprendizagem para que o robô interaja de tal forma, que o ser humano fique confortável com sua aproximação e também com a execução de tarefas em conjunto com o robô. Além disso, o RBC pode ser utilizado como uma ferramenta para planejar os movimentos e navegação do robô e realizar a transferência de conhecimento entre robôs, o que será muito útil para o domínio de interação humano-robô apresentado como aplicação dessa tese.

4 PROPOSTA

Este trabalho apresenta uma metodologia que mapeia o conjunto de ações que o robô é capaz de executar visando a maximização a qualidade da interação humano-robô, baseando-se no comportamento e características do indivíduo. Como observado ao longo dos trabalhos da literatura apresentados até agora, o comportamento do indivíduo possui dependência da origem ou cultura dele. Assim, algumas reações apresentadas por uma pessoa podem ser influenciadas pelo local de nascimento, pelos locais que o indivíduo viveu e também pela sua experiência de vida. Contudo, fatores como a experiência de vida e cultura são difíceis de avaliar apenas com a observação de uma determina pessoa.

Dessa forma, a técnica de Raciocínio baseado em Casos (RBC) foi escolhida como apoio a essa tese, para que seja possível armazenar as experiências de interações entre robô e as pessoas, e a partir da informação gerada com base nos casos, identificar a melhor forma de interagir com novas pessoas de acordo com seu perfil comportamental. Entretanto, o número de informação gerada no processo de interação com diversas pessoas é consideravelmente alto, isso dificulta a consulta dos casos para reutilizar a solução em tempo de interação entre o ser humano e o robô. Com o intuito de minimizar a quantidade de casos para encontrar a provável melhor interação tendo como base um determinado perfil e otimizar o tempo de procura dessa solução é utilizado um algoritmo de agrupamento que será capaz de gerar grupos de perfis comportamentais. É a partir desses perfis que o mecanismo de classificação identifica o melhor conjunto de ações para o robô executar referente àquele caso.

Essa seção apresenta em detalhes os passos da metodologia proposta por esta tese. Ao final do capítulo é apresentado a visão completa da metodologia onde é realizado uma síntese do processo como um todo e das técnicas aplicadas nele. Antes de entrar em detalhes na metodologia, é apresentado o robô que será utilizado para o desenvolvimento do estudo proposto nessa tese.

4.1 O Robô

O robô utilizado no desenvolvimento dessa tese é o PeopleBot¹ fabricado pela ActivMedia Robotics. Ele é um robô móvel com direção diferencial, ou seja, possui duas rodas motorizadas e uma roda castor que auxilia no equilíbrio do robô. O projeto do PeopleBot tem foco em pesquisas e serviços que envolvem interação humano-robô, devido a isso ele possui uma altura de 112 cm (centímetros). Além disso, o PeopleBot também possui uma garra pequena que tem sua movimentação apenas na vertical. A figura 4 apresenta o robô PeopleBot.



Figura 4 – Robô ActivMedia Robotics PeopleBot.

Como a garra do PeopleBot é curta e não permite muitos movimentos, foi adicionado um manipulador para auxiliar na manipulação de objetos durante a interação com as pessoas e também na prestação de serviços domésticos e de cuidados pessoais. O projeto de construção do manipulador é apresentado através da figura 5.

O novo manipulador foi construído de maneira que os movimentos sejam parecidos com o braço humano. Além do manipulador, também será acoplado um *tablet* para que seja possível atribuir faces ao robôs e deixar a interação mais amigável. Alguns sensores como o

¹PeopleBot - <http://www.mobilerobots.com/researchRobots/PeopleBot.aspx>

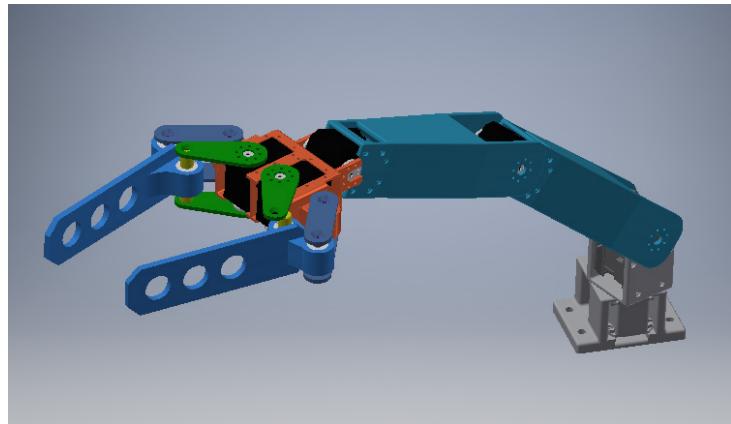


Figura 5 – Projeto do Novo Manipulador do PeopleBot.

Microsoft® Kinect® e o ASUS® Xtion® também foram instalados para melhorar a captura das informações que são apresentadas na seção 4.2, a seguir.

4.2 Extração das Características para o RBC

Como apresentado na seção 2, existem diversas variáveis que podem auxiliar na extração de um perfil comportamental do indivíduo. *Proxemics* tornam possível a extração de fatores sobre a distância social entre o indivíduo e o robô. Esses fatores podem variar não só entre a posição física dos dois agentes, mas também na posição do corpo dos indivíduos, como por exemplo, a orientação dos ombros e troco em relação a posição do robô. Outro fator também significante é a fixação entre olhares, este pode determinar o início e o fim de uma interação, além dos principais indivíduos na interação. Além disso, pode ser também empregado o reconhecimento de expressões faciais que auxiliam na análise do quanto a situação é confortável para o indivíduo, ou seja, o quanto ele está apreciando a interação, de tal forma, que possa existir uma avaliação em tempo real das reações deste durante todo o processo de interação. Outra técnica que pode ser utilizada na análise do conforto do indivíduo durante a interação é a avaliação da emoção através da voz da pessoa.

Dessa forma, é possível empregar diversos sensores que auxiliam a leitura e quantificação dessas variáveis. Sensores de captura de marcações de movimento, como Microsoft® Kinect® ou o ASUS® Xtion®, são utilizados para quantificar os valores obtidos através da *Proxemic*, que envolvem distância entre agentes e orientação de membros do indivíduo. Para realizar o reconhecimento de expressões faciais utiliza-se uma câmera de vídeo, podendo assim

executar uma leitura da face do individuo em tempo de execução na interação entre o humano e o robô. As variáveis referentes a questão da fixação dos olhares dos agentes para identificar o início e o fim da interação, podem ser obtidas através de ambos sensores de tal forma, que seja possível determinar a orientação da cabeça e torso do individuo e também a direção do olhar deste para com o robô. A voz do individuo para análise da emoção na interação é obtida através de um microfone. A figura 6 apresenta a ilustração do processo de extração das características do individuo.

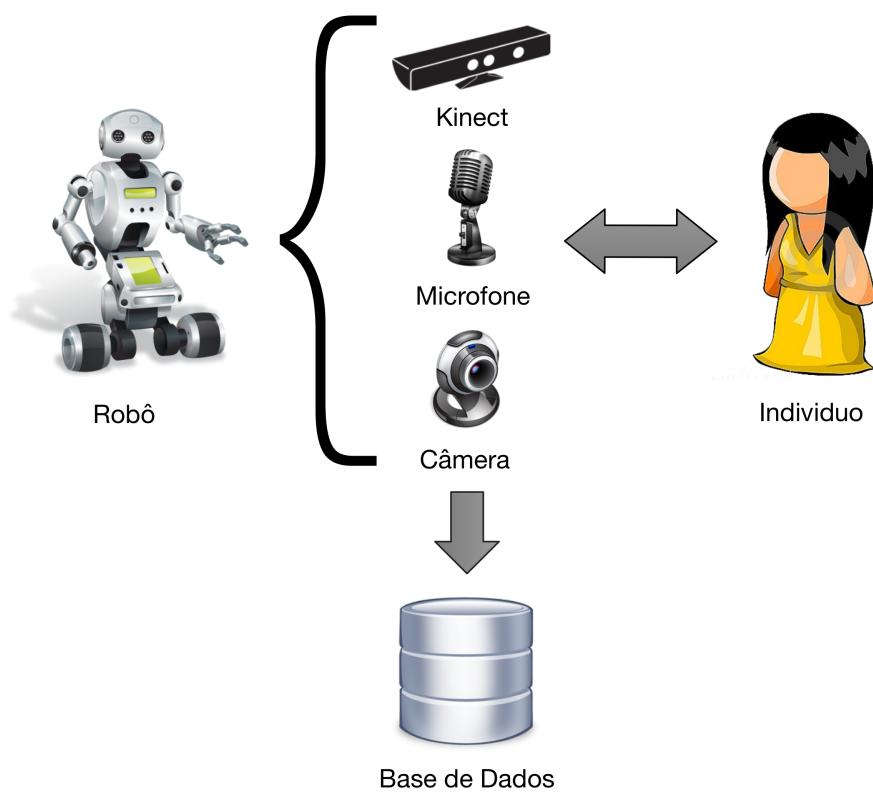


Figura 6 – Processo para a extração das características do individuo.

No processo apresentado pela figura 6, o robô utiliza os sensores para identificar que o individuo iniciará uma interação com ele. Ao estabelecer o processo de interação, o robô utiliza um componente de *log* que armazena todos os valores das variáveis que são utilizadas para determinar o perfil comportamental do individuo em um banco de dados. As variáveis são apresentadas em detalhes nas seções 4.2.1 e 4.2.2. Com as informações armazenadas determina-se através de um algoritmo de agrupamento, grupos que possuem perfis comportamentais similares, coletados e armazenados no banco de dados. Deve-se lembrar que as informações sobre o

comportamento do individuo são direcionadas por um cenário de interação, como discutido por Jung (1991) em seu trabalho.

Dessa forma, as variáveis aplicadas ao comportamento tem dependência do cenário de interação, porém as informações das variáveis etnográficas como idade, experiência computacional, sexo, local de origem, etnia, entre outras, são independentes do cenário. Existem alguns algoritmos na área de visão computacional que são capazes de identificar algumas variáveis etnográficas de maneira automática (YANG; AI, 2007; SHAN, 2012; YLIOINAS; HADID; PIETIKAINEN, 2012; SAMADI, 2013; AMARAL; GIRALDI; THOMAZ, 2014), porém para o trabalho desta tese, a coleta dessas informações será realizada através de um questionário pré interação já que esses algoritmos não fazem parte do objetivo principal do trabalho. As informações obtidas através do questionário serão inseridas no banco de dados complementando as informações de comportamento, que são separadas obtidas através da interação entre o ser humano e o robô através dos cenários de interação.

Na seção 4.2.1 são detalhados os conjuntos de variáveis etnográficas e comportamentais com uma breve explicação dos objetivos esperados de cada uma das variáveis coletadas. A seção 4.2.2 detalha as variáveis que serão consideradas para o perfil do robô, apresentando também uma explicação sobre os objetivos de cada uma das variáveis.

4.2.1 Selecionando as Variáveis para o Individuo

Essa seção apresenta os conjuntos de variáveis que são consideradas nesse trabalho como a base de informações para seu desenvolvimento. Dois conjuntos são apresentados, o conjunto de variáveis etnográficas, seguido pelo conjunto de variáveis comportamentais que é o principal foco deste trabalho.

4.2.1.1 *Conjunto de Variáveis Etnográficas*

O objetivo das variáveis etnográficas é identificar qual a experiência social e computacional de cada indivíduo. Além da experiência, também pode-se obter informações sobre a idade, gênero, local de nascimento ou origem do indivíduo. Todas essas informações são relevantes

para verificar a existência de uma possível relação entre as variáveis etnográficas e comportamentais. A lista apresentada a seguir define as variáveis etnográficas e uma breve explicação sobre o significado de cada uma das variáveis.

- a) **Idade:** informa a idade do indivíduo.
- b) **Gênero:** informa o sexo biológico do indivíduo.
- c) **Local de Nascimento:** informa qual o local de nascimento do indivíduo. Essa variável auxiliará a determinar a base cultural do indivíduo.
- d) **Etnia:** informa a origem da família do indivíduo. Outra variável que auxilia na determinação da base cultural do indivíduo.
- e) **Quantidade de Gadgets:** informa a quantidade de *gadgets* que o indivíduo possui, ajudando a identificar qual a experiência e o contato dele com a tecnologia.
- f) **Contato prévio com Robôs:** informa apenas se o indivíduo já possuiu algum contato com robôs. Auxiliará a determinar o contato com a tecnologia, principalmente com robôs que poderá influenciar no seu comportamento durante a interação.
- g) **Tipos de Robôs:** informa quais são os tipos de robôs que o indivíduo teve contato. Os tipos poderão ser robôs *Pet*, Humanoides, Androides, Móveis, entre outros. Essa variável é um complemento da variável “Contato prévio com Robôs”.
- h) **Quantidade de cidades visitadas:** informa a quantidade de cidades que o indivíduo já visitou além da sua cidade natal. É importante para identificar o contato com outros tipos de cultura. Isso poderá influenciar no comportamento definido por sua cultura.
- i) **Quantidade de cidades que morou:** informa a quantidade de cidades que o indivíduo já morou além da sua cidade natal. É importante para identificar a vivência com outros tipos de cultura. Isso poderá influenciar no comportamento definido por sua cultura.
- j) **Quantidade de países visitadas:** informa a quantidade de países que o indivíduo já visitou além da sua cidade natal. É importante para identificar o contato com outros tipos de cultura. Isso poderá influenciar no comportamento definido por sua cultura.
- k) **Quantidade de países que morou:** informa a quantidade de países que o indivíduo já morou além da sua cidade natal. É importante para identificar a vivência com outros tipos de cultura. Isso poderá influenciar no comportamento definido por sua cultura.

Em diversos trabalhos da seção 2.1.1, onde a questão cultural do indivíduo é abordada, são discutidos que influência dela sobre o comportamento do o indivíduo. Contudo, a cultura é tratada como a origem do indivíduo, por exemplo, no trabalho de Eresha et al. (2013). Entretanto, a questão cultural na vida de uma pessoa é mais abrangente, está relacionada a experiência adquirida ao longo de sua vivência social. Dessa forma, o conjunto de variáveis apresentado acima tem como objetivo mapear de forma abstrata a experiência social do indivíduo, com o intuito de tornar o comportamento menos dependente da origem e talvez de sua experiência prévia.

Nesse trabalho, as informações levantadas nessa seção serão adquiridas através de questionários pré testes de interação. Em trabalhos futuros serão feitos estudos para identificar essas informações de maneira interativa através do próprio robô.

4.2.1.2 Conjunto de Variáveis Comportamentais

Variáveis comportamentais tem como principal objetivo identificar o comportamento do indivíduo. Nesse trabalho o comportamento está diretamente relacionado com cenários de interação social. As variáveis comportamentais são coletadas a partir de informações sobre as posições corporais e expressões faciais do indivíduo, tornando possível uma análise com base em teorias de linguagem corporal. As análises realizadas a partir da linguagem corporal, tem por base o trabalho apresentado por Lambert (2008). O conjunto de variáveis comportamentais apresentados nessa seção não são utilizadas apenas para extrair o perfil do indivíduo, mas também para avaliar se a ação realizada pelo robô gerou uma reação positiva ou negativa no indivíduo. A lista apresentada a seguir define as variáveis comportamentais e uma breve explanação sobre o objetivo de cada uma das variáveis.

- a) **Expressões Faciais:** é possível identificar se a reação do indivíduo foi positiva ou negativa, a partir de uma ação do robô. Existem seis expressões bases que combinadas formam diversas outras (JIANG et al., 2014). Contudo, nesse trabalho será considerado apenas as seis expressões bases classificadas em dois grupos: expressões faciais positivas e expressões faciais negativas. O intuito dessa variável é realizar a avaliação da ação do robô com base nas expressões faciais do indivíduo.

- b) **Tempo de Transição entre as Zonas Sociais:** identificar o tempo que o indivíduo ficou confortável com a presença do robô a medida que esse diminuiu a distância entre eles.
- c) **Frequência do Olhar em direção ao Robô:** identificar se o indivíduo mantém o olhar ao robô, sendo possível saber se a interação está continua ou não. Isso pode influenciar se o robô está interagindo de maneira confortável ao indivíduo ou se esse está incomodado com a presença do robô.
- d) **Tempo do Olhar:** é possível mensurar o interesse do indivíduo durante a interação através do tempo que ele permanece com o olhar fixo no robô. Quanto maior o tempo do olhar, maior o interesse na interação do indivíduo.
- e) **Orientação dos ombros:** Auxilia a mensurar o interesse do indivíduo durante a interação, analisando se os ombros possuem a mesma orientação que a cabeça e também uma orientação em direção ao indivíduo que interage com o robô. Além disso, é possível determinar através do alinhamento do quadril com o ombro do indivíduo o ângulo de inclinação de seu torso. A inclinação do torso auxilia a identificar o interesse do indivíduo na interação, para isso basta verificar se ele está inclinado em direção ao robô para determinar um interesse positivo.
- f) **Orientação do quadril:** Auxilia a mensurar o interesse do indivíduo durante a interação. A orientação do quadril em direção ao robô ou na direção oposta auxilia a determinar o grau de interesse do indivíduo na interação. Quando mais alinhado à direção do robô, maior o interesse do indivíduo na interação.
- g) **Estilo da Voz:** é importante, pois pode determinar a reação que o indivíduo terá após a interação via áudio com o robô. Além disso, é possível determinar se o indivíduo está confortável ou não durante a interação, analisando o tom de sua voz ao responder o robô. Nesse trabalho, será considerado somente o canal de resposta ao indivíduo. A análise do tom da voz do indivíduo não será considerado nesta tese e ficará para trabalhos futuros de aprimoramento do componente de análise comportamental em IHR.

4.2.2 Selecionando as Variáveis para o Robô

Além das variáveis referentes ao perfil do indivíduo, deve-se considerar também as informações sobre o robô uma vez que sua aparência pode influenciar na reação das pessoas durante a interação (HEGEL; LOHSE; WREDE, 2009). Coletar as variáveis do robô pode auxiliar a identificar quais são os principais fatores que tornam a interação humano-robô desconfortável ou com menos qualidade. Dessa forma, foi definido um conjunto de variáveis que pudessem caracterizar da melhor maneira fatores do robô, referente a sua aparência, que influenciam na IHR. Esse conjunto de variáveis é apresentado a seguir:

- a) **Altura:** A altura do robô para identificar a influência da diferença entre alturas de robôs e humanos.
- b) **Volume:** O volume ocupado pelo robô pode influenciar no conforto da interação, uma vez que quando o robô atingir uma zona social mais próxima do indivíduo pode causar uma sensação claustrofóbica a ele.
- c) **Tipo do Robô:** Segundo Choi, Kim e Kwak (2014), robôs possuem dois tipos: Autônomos e Tele-operados. Essa variável define o quanto de intervenção humana é necessário para que o robô possa executar a tarefa objetivo.
- d) **Classificação do Robô:** Segundo Dobra (2014) classificar um robô é uma tarefa muito complexa e pode envolver diversas variáveis. Dessa forma, para essa tese será considerado uma classificação mais simples. O robô deve ser classificado como: fixo, móvel com rodas, móvel bípede, móvel quadrupede, móvel com manipuladores. Outras classificações podem ser inseridas conforme a necessidade e inclusão de novos robôs.
- e) **Aparência Física:** Essa variável descreve se o robô possui uma aparência amigável ou agressiva.
- f) **Nível de Ruído:** Determina qual o nível de ruído que os atuadores do robô podem gerar de tal forma, que possa influenciar na interação humano-robô.

Além das variáveis que definem as características, é necessário também o mapeamento das ações que o robô irá executar para que exista uma avaliação dessa após a reação do indivíduo. As variáveis que compõem as informações do perfil comportamental do robô são:

- a) **Aproximação:** Forma de aproximação do robô ao indivíduo. Pode ser classificada entre rápida, devagar, brusca ou suave.
- b) **Movimentação do Manipulador:** Caso exista um manipulador deve descrever como é feita a movimentação do manipulador em direção ao usuário. A classificação consiste em brusca ou suave.
- c) **Estilo de Voz:** Ao emitir algum tipo de som o robô deverá manter um estilo de voz para que seja possível simbolizar qual o tipo de mensagem ele deseja falar. A classificação será feita de maneira simplificada, considerando apenas se é um estilo educado ou agressivo.
- d) **Expressão Facial:** Ao iniciar o contato visual com o indivíduo, pode ocorrer diversas expressões do robô na tentativa de manter o conforto do indivíduo durante o processo de interação. Simplificando as expressões, de maneira similar ao apresentado na seção 4.2.1.2, são consideradas apenas dois tipos de expressões realizadas pelo robô: amistoso e não-amistoso. As expressões faciais do robô serão executadas através do *tablet* acoplado nele, conforme descrito na seção 4.1.

As variáveis comportamentais do robô definidas com o objetivo de executar uma tarefa de abordagem para estabelecer uma interação. Caso seja necessário adicionar novas variáveis a esse conjunto não haverá problema ao método apresentado ao longo da seção.

4.3 Raciocinando com Base nas Interações Extraídas

Com as variáveis comportamentais e etnográficas do indivíduo e do robô definidas é necessário definir o método que fará com que o robô seja capaz de aprender a interagir com seres humanos a partir das suas experiências passadas. No capítulo 3 foi apresentado a técnica de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) que tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema de conhecimento com base em experiências ou casos ocorridos anteriormente. RBC tem uma estrutura baseada em 4(quatro) pilares, são eles (LÓPEZ, 2013): Resgatar, Reutilizar, Revisar e Reter. A figura 7 apresenta a metodologia dessa tese, que engloba as quatro etapas do RBC.

A metodologia da figura 7 tem início na interação entre o robô e a jovem localizada a sua frente. Durante a interação entre os dois o sistema coleta todas as reações da jovem para

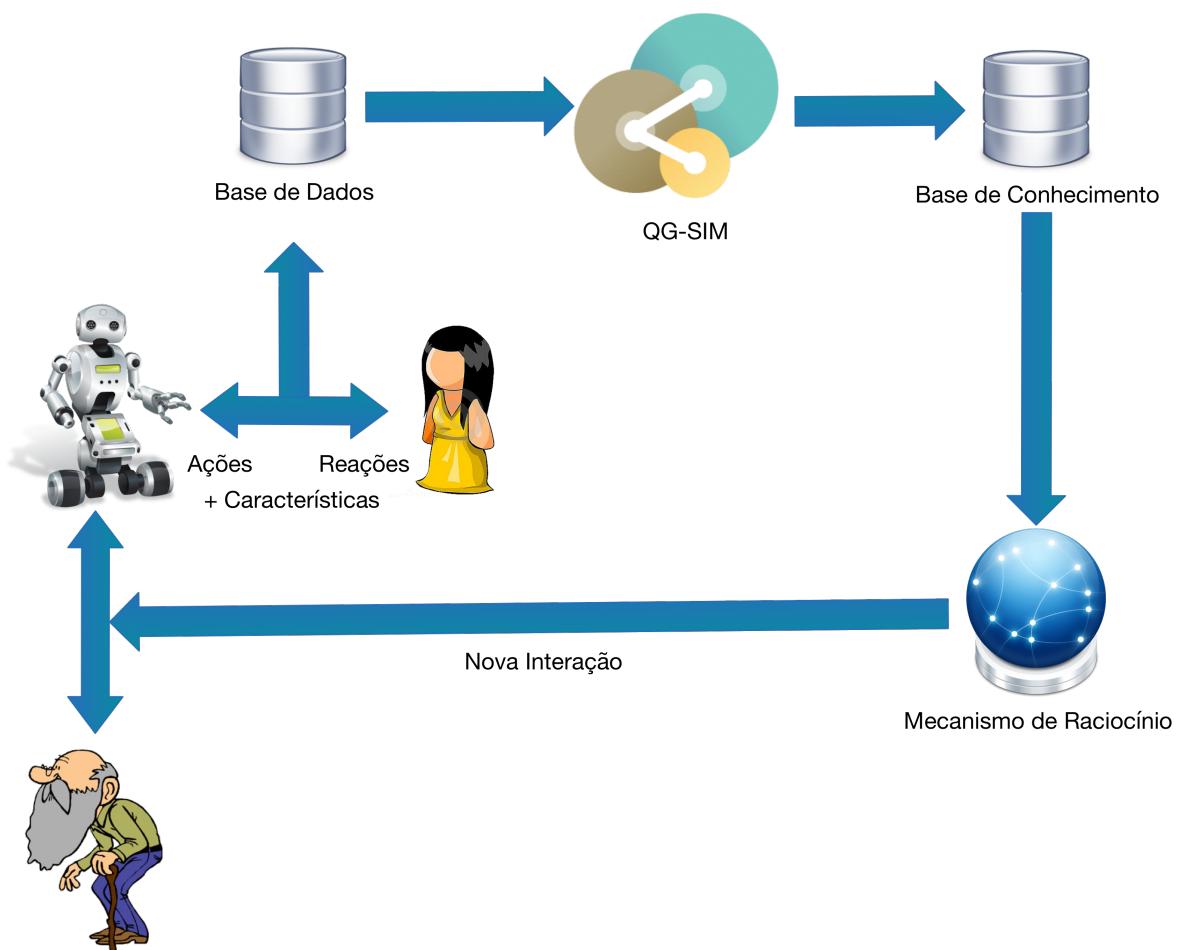


Figura 7 – Processo de Interação com Aprendizado baseado em Experiências Passadas.

cada ação tomada pelo robô, de acordo com as variáveis descritas na seção 4.2, que são armazenadas na base de dados. A base de dados formada a partir dessas informações é enviada ao algoritmo de agrupamento por similaridade QG-SIM (Quality Groups of Similarity, em inglês) (MASIERO, 2013). Os grupos gerados pelo QG-SIM são analisados e inseridos na base de conhecimento formando os casos de pesquisa para novas interações. Quando ocorrer uma nova interação, como por exemplo o robô com o senhor na figura 7, o mecanismo de raciocínio realiza uma análise para que possa inferir qual o melhor caso a ser aplicado para interação entre o senhor e o robô. Mesmo que utilize casos existentes na base de conhecimento, todas as interações são armazenadas para manter o aprendizado sobre interações contínuo e sempre com o objetivo de manter o indivíduo confortável durante todo o processo. Na sequência serão detalhadas as fases do RBC de acordo com a metodologia apresentada na figura 7.

4.3.1 Resgatar

A partir de uma nova interação inicia-se o processo de resgate do caso que maximize as reações positivas de um determinado indivíduo a partir da ação que o robô realiza. Nessa fase a solução encontrada não poderá ser dada como exclusiva, pois quando trata-se de seres humanos a tarefa de determinar uma solução exata é complexa. Como para um mesmo perfil de indivíduo ou um perfil similar pode-se apresentar muitas soluções deve ser aplicado nessa fase um modelo probabilístico de tal forma, que a solução escolhida seja a que possui um maior valor de probabilidade no ponto de vista de maximizar a satisfação e o conforto do indivíduo.

Existem diversos métodos probabilísticos que podem ser aplicados nessa fase, como por exemplo, redes Bayesianas ou até mesmo conjunto de lógica nebulosa (*Lógica Fuzzy*). Mesmo sendo o regaste de uma solução único para o caso, esse modelo possibilita que a solução selecionada para execução seja a melhor dentre todas as armazenadas dada uma distribuição probabilística. Selecionando o caso que será aplicado esse deve formar um conjunto de ações do robô para interação com o indivíduo, como é apresentado na próxima seção.

4.3.2 Reutilizar

Após o resgate do caso que possui a maior similaridade de tornar a interação confortável ao indivíduo é necessário construir a sequência de ações que o robô irá executar. Para isso, deve-se considerar duas premissas. A primeira é que uma ação é dependente da anterior, pois caso essa premissa não seja considerada as ações que o robô executará não apresentarão nenhum sentido ao indivíduo. Isso faz com que esse modelo de reutilização seja considerado como temporal, onde uma ação futura depende de uma ação passada. A segundo premissa que deve ser considerada é que o indivíduo irá se comportar de maneira diferente da esperada em algum momento do processo de interação. Dessa maneira, deve-se realizar um novo resgate para a solução que maximiza o conforto da interação a partir daquele ponto onde a reação do indivíduo foi diferente do esperado.

4.3.3 Reter

Durante a interação entre o robô e um indivíduo as informações sobre o comportamento são armazenadas em um banco de dados. A partir desse banco de dados é realizado um agrupamento entre os perfis comportamentais que possuem uma certa similaridade. Para realizar esse agrupamento é utilizado um algoritmo chamado QG-SIM. O QG-SIM (MASIERO, 2013) mantém a qualidade da similaridade entre os perfis de um mesmo grupo, sendo dessa maneira, o algoritmo ideal para esse tipo de tarefa e cenário.

Com os grupos formados é utilizado uma processo definido por Masiero (2013) para gerar um perfil comum ao grupo. Esse perfil comum também pode ser considerado a centroide do grupo. O procedimento para encontrar a centroide do grupo auxilia a determinar o perfil que será inserido na base do conhecimento que é utilizada no processo de resgate e reutilização do sistema de RBC.

A opção de realizar esse processo de agrupamento para inserir um caso na base de conhecimento é importante, pois diminui a quantidade de casos para busca por parte do sistema de RBC. Diminuir o número de casos aumenta o desempenho do algoritmo fazendo com que o robô tenha uma resposta na interação mais rápida, evitando com que o indivíduo espere muito por uma ação do robô.

4.3.4 Revisar

Com a base de conhecimento formada é executado um procedimento para verificar se existem perfis iguais ou similares a ponto que possam ser excluídos. Dessa maneira, é possível manter a base de conhecimento sempre com perfis exclusivos entre os existentes. Assim, é possível garantir que um número maior de indivíduos seja atendido pelo sistema de RBC.

Apesar da metodologia apresentada na figura 7 possuir apenas um robô na interação, é possível transferir esse conhecimento a diversos robôs já que em sua arquitetura todo o sistema de RBC é extra robô. Assim, o processamento e conhecimento adquirido pelo sistema de RBC ficará disponível em um servidor ao qual todo robô que quiser utilizar dessas informações terá livre acesso.

Todo esse sistema será testado em um cenário de primeiro contato para interação entre dois agentes, nesse caso um robô e um indivíduo. O robô utilizado tem a locomoção feita através de rodas, porém sua altura é próxima da média dos seres humanos. As características do robô fazem com que ele seja apropriado para interações entre humanos e robôs.

5 CENÁRIOS DE TESTE

Esse capítulo apresentará os cenários de teste considerados para auxiliar a validação do processo de aprendizado de interação entre humanos e robôs proposto por essa tese. São apresentados dois cenários, o primeiro representa a primeira abordagem para interagir com pessoas desconhecidas e o segundo cenário é uma continuação do primeiro, onde a partir de interações passadas o robô auxiliará uma pessoa durante alguma tarefa no ambiente doméstico.

5.1 Cenário 1 - Primeira Interação

O primeiro cenário de teste ocorre com o pressuposto de que o robô nunca interagiu com a pessoa em questão previamente. Para isso o robô PeopleBot é posicionado frente a frente com a pessoa. As informações sobre distância social(vide seção 2.1) serão utilizadas para validar o cenário. A figura 8 apresenta uma ilustração do cenário e suas possibilidades.

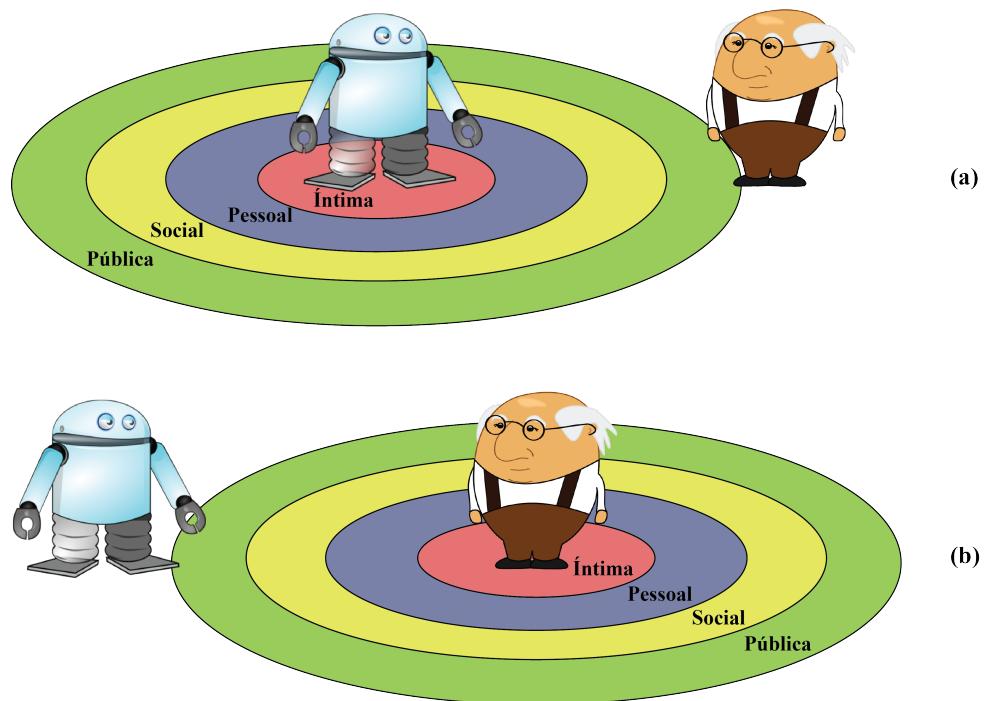


Figura 8 – Cenário de teste para primeira interação entre humano e robô.

Na figura 8a o robô permanece parado e inicia a interação com a pessoa de tal forma, que essa sinta-se confortável e aproxime-se do robô. O cenário será considerado como concluído e

também como sucesso quando a pessoa entrar pelo menos na zona pessoal do robô, demarcada pela cor azul, e permanecer pelo menos alguns segundos nela. A figura 8b representa o cenário inverso. Nesse a pessoa fica parada e durante a interação o robô vai se aproximando dele. A velocidade que o robô irá se aproximar dependerá das reações positivas e negativas da pessoa para com as ações do robô. Como o cenário figura 8a, o sucesso será determinado na entrada e permanência do robô à zona pessoal do indivíduo.

5.2 Cenário 2 - Cenário Doméstico

Nesse segundo cenário de teste o robô e a pessoa já interagiram previamente, sendo assim o desconforto inicial de interação já deve não existir mais. Contudo, variáveis como humor e tarefa a ser executada podem contribuir com a variação no estilo de interação. Dessa forma, o robô deve continuar com a preocupação de manter o ser humano confortável durante a execução da tarefa de ajuda. Para validar essa segunda interação é proposto um cenário de atividade doméstica, representado através da figura 9.

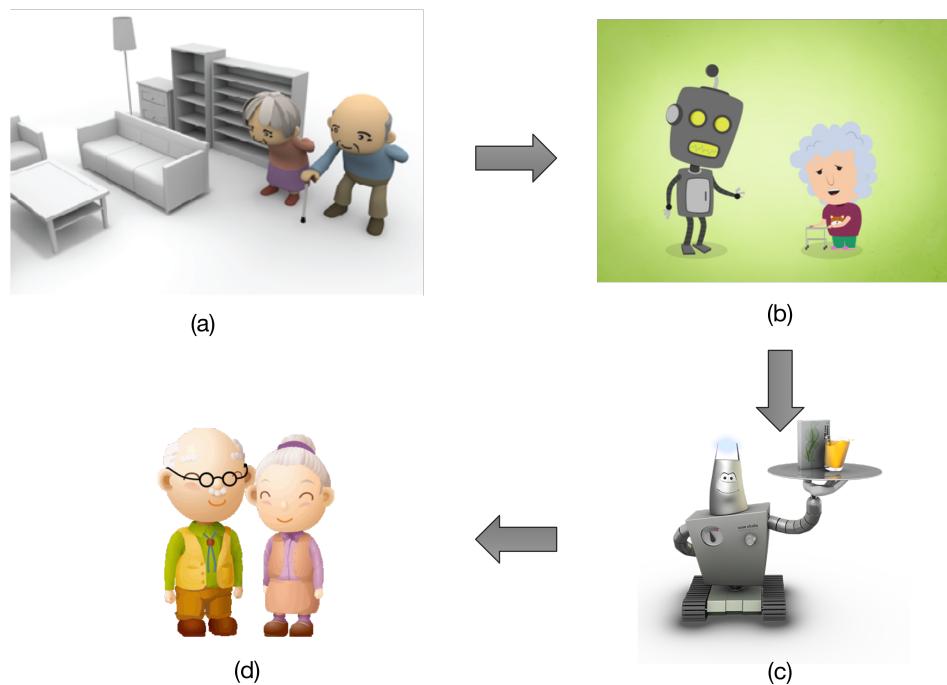


Figura 9 – Cenário de teste para segunda interação entre humano e robô.

O cenário apresentado na figura 9 é composto por quatro etapas, são elas: (a) existem pessoas em um ambiente doméstico e elas necessitam de alguma ajuda, seja para pegar um copo

d'água ou tomar um medicamento, solicitando ao robô através de um comando de voz; (b) o robô percebe através de um movimento brusco da pessoa utilizando os sensores do Microsoft® Kinect® ou o ASUS® Xtion® ou recebe a informação direta através de um comando de voz pela pessoa solicitando a ajuda. O robô se aproxima do indivíduo de acordo com as informações obtidas e processadas a partir do cenário 5.1. Ele também se mantém atento para qualquer adaptação de comportamento que seja necessário durante a interação alimentando a base de dados; (c) o robô identifica a ajuda que lhe foi solicitada e realiza a tarefa de acordo com o solicitado e na sequência retorna até a pessoa que lhe solicitou a ajuda; e (d) por fim, a pessoa que recebeu ajuda esboça o seu contentamento para com o robô pelo serviço prestado através de um elogio verbal, uma expressão facial positiva (sorriso, por exemplo) ou algum gesto de saudação.

O sucesso do cenário será medido de forma acumulativa durante todos os processos de interação entre o robô e o ser humano. Nesse cenário é esperado que o robô não faça nada para retroceder o estado de conforto da pessoa para com ele. Também é esperado que o tratamento para com o robô seja feito de maneira natural de tal forma, que a pessoa comece a não entender o robô como uma máquina, mas sim como qualquer outro agente que possa auxiliá-lo em suas tarefas diárias.

5.3 Seleção das Pessoas para o Teste

Para realizar os testes são priorizadas as pessoas que não tiveram nenhum contato prévio com robô ou com um contato mínimo. As pessoas possuem idades diversificadas, porém as preferências são por idosos e crianças. Alguns candidatos ao teste possuem medo declarado de robôs e neste caso o especialista ficará acompanhando o teste com uma maior proximidade para evitar problemas com o robô e principalmente com a pessoa.

Os integrantes da equipe que constrói o robô não serão consideradas como público ou registro oficial dos testes realizados nos dois cenários. Também são evitados a repetição dos candidatos entre os dois cenários com a tentativa de maximizar o resultado dos testes.

5.4

6 RESULTADOS ESPERADOS

Como resultados desta tese é esperado um *framework* para adaptação do comportamento do robô durante a interação com uma pessoa. Esse *framework* deverá ser capaz de identificar algumas variáveis apresentadas na seção 4.2 e a partir dessas informações extrair o perfil comportamental das pessoas com quem o robô interagir. Dessa maneira, o robô irá conseguir fazer com que o indivíduo fique confortável e mantenha uma determinada qualidade de interação com ele.

Através da qualidade de interação espera-se comprovar que o robô, independente da sua configuração, consegue manter o ser humano confortável com sua presença. Ainda é possível aproximar o comportamento do robô para uma forma mais natural e adequada ao ser humano. E também, existe a possibilidade de minimizar fatores regionais com relação a questão cultural, fazendo com que o comportamento do robô gere o mesmo resultado independente do local de origem do indivíduo.

Além do *framework*, é esperado que possa encontrar um conjunto mínimo de variáveis de comportamento para fazer todo o trabalho de inferência na interação, sobre qual são as melhores ações para o robô de acordo com o perfil. Análises estatísticas devem indicar o quanto todo o processo mapeado auxiliou para manter o indivíduo confortável em meio a interação com o robô. E por fim, a continuidade no aprendizado de interação do robô, indiferentemente do seu formato e aparência, junto a qualquer perfil comportamental apresentado pelas pessoas.

7 CONCLUSÕES PARCIAIS

De acordo com os estudos realizados na literatura existente, é possível perceber que a criação de um *framework* para interação humano-robô capaz de aprender e se adaptar ao comportamento de uma pessoa torna-se viável e essencial a partir do momento que a popularização da robótica está cada vez maior, principalmente em ambientes domésticos para fins de ajuda ao ser humano.

Para a interação ocorrer de maneira efetiva é necessário que o robô saiba respeitar os limites espaciais do ser humano e também ao realizar uma aproximação ou movimento em direção a pessoa, estes devem ser delicado o suficiente para que não gere nenhum desconforto ou medo. Por exemplo, durante uma apresentação do robô PeopleBot para alunos e professores do ensino médio, percebeu-se que a aproximação do robô pode causar um certo desconforto e medo dependendo, em especial quando a pessoa não estava esperando essa aproximação e não era avisada sobre a ação.

Quando o robô se locomovia em direção a pessoa sem nenhum anúncio prévio, essa pessoa por muitas vezes ficava com medo. O medo em algumas situações observadas era tão evidente que a pessoa deixa o mesmo ambiente que o robô estava. Porém, quando o robô se aproximava e era anunciado pelo apresentador, as pessoas ficavam paradas deixando o robô chegar a alguns poucos centímetros dela.

As observações a partir desse experimento reforçam a importância de ter um componente de interação adaptativo para que o robô possa identificar o perfil comportamental e personalidade do indivíduo de tal forma que eles possam conviver no mesmo ambiente em uma maneira confortável e sem medo por parte do ser humano.

Esse componente deve ainda ser capaz de transferir o conhecimento adquirido a partir de um robô para outros robôs, levando em consideração não só as características da pessoa, mas também as características do robô, pois esses fatores podem influenciar no comportamento das pessoas e robôs durante a interação. As características do robô são muito importantes para determinar a forma de interagir, já que existem robôs em diversos formatos como quadrutores, direção diferencial, bípede, quadrupede, com ou sem manipuladores, com tamanhos diferentes e também o nível de ruído de cada robô. Todas essas variáveis devem ser consideradas em estudos futuros, mas já devem estar contempladas pelo *framework* que é um dos produtos finais dessa tese.

8 CRONOGRAMA

Nesse capítulo é apresentado o cronograma definido para a conclusão da tese. O início do cronograma é demarcado a partir da apresentação do exame de qualificação, conforme apresentado na figura 10.

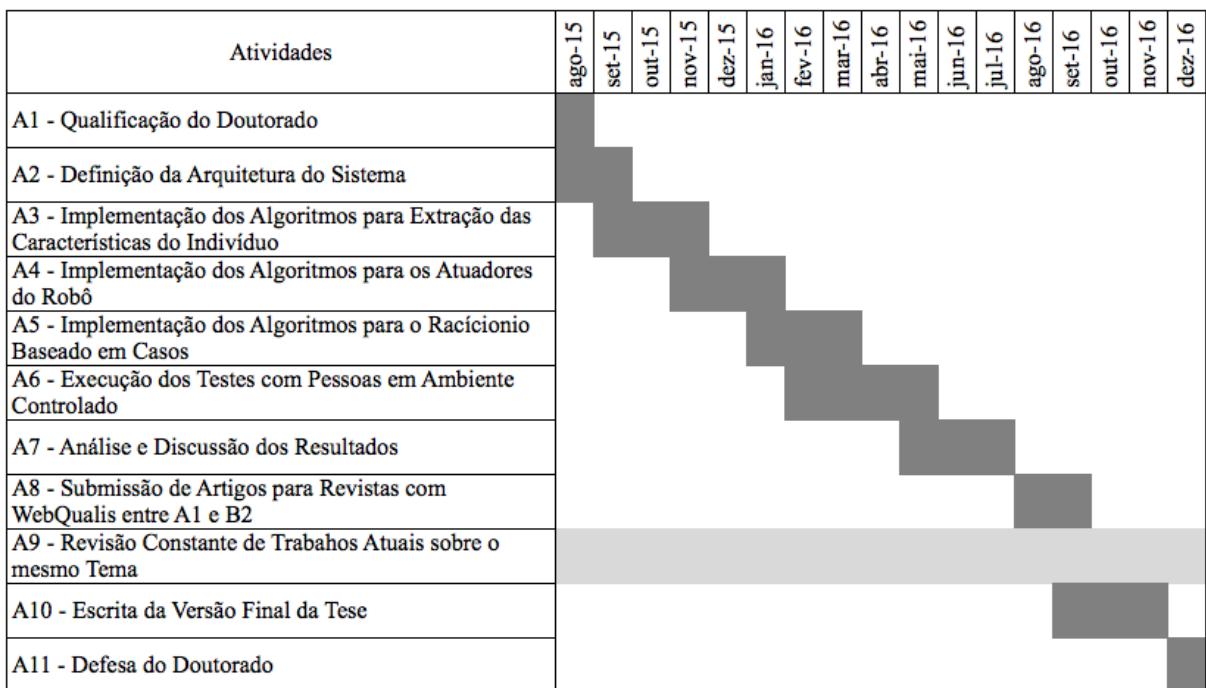


Figura 10 – Cronograma para Conclusão da Tese.

A lista a seguir apresenta com mais detalhes as tarefas apresentadas no cronograma da figura 10.

- A1:** Apresentação do Exame de Qualificação para o Doutorado;
- A2:** Definição da Arquitetura que irá auxiliar o desenvolvimento e execução do Sistema que poderá ser consumido por diferentes tipos de robô ao mesmo tempo;
- A3:** Desenvolvimento dos algoritmos que serão utilizados para fazer com que o robô possa extrair as informações comportamentais das pessoas, de acordo com o apresentado na seção 4.2;
- A4:** Desenvolvimento dos algoritmos que irão controlar os atuadores do robô, como por exemplo, cabeça, manipulador e motores;
- A5:** Desenvolvimento dos algoritmos que compõem o mecanismo para Raciocínio Baseado em Casos, responsável pelo aprendizado de interação do robô;

- f) **A6:** Execução dos testes de interação de acordo com o descrito no capítulo 5;
- g) **A7:** Análise dos resultados utilizando métodos estatísticos e também as observações obtidas durante o acompanhamento dos testes de interação;
- h) **A8:** Submissão de pelo menos 2 artigos sobre a tese para revistas relevantes para a área de pesquisa, classificadas de acordo com o WebQualis da CAPES entre os níveis de A1 à B2;
- i) **A9:** Revisão bibliográfica contínua para certificar da originalidade e atualidade do trabalho de tal forma, que sua contribuição possa ajudar o avanço da área de pesquisa em robótica social e assistiva;
- j) **A10:** Consolidação do trabalho no texto do documento da tese para entrega à banca avaliadora;
- k) **A11:** Apresentação da Defesa para o título de Doutor.

REFERÊNCIAS

- ALBO-CANALS, J. et al. Comparing two lego robotics-based interventions for social skills training with children with asd. In: **RO-MAN, 2013 IEEE**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 638–643. ISSN 1944-9445.
- AMARAL, V. do; GERALDI, G. A.; THOMAZ, C. E. Segmentação espacial não uniforme aplicada ao reconhecimento de gênero e expressões faciais. 2014.
- ARGYLE, M. **Bodily communication**. [S.l.]: Routledge, 1988.
- ARGYLE, M.; DEAN, J. Eye-contact, distance and affiliation. **Sociometry**, JSTOR, p. 289–304, 1965.
- BEEK, L. van et al. **RoboCup@Home 2015: Rule and Regulations**. 2015. <http://www.robocupathome.org/rules/2015_rulebook.pdf>.
- BROOKS, R. A robust layered control system for a mobile robot. **Robotics and Automation, IEEE Journal of**, v. 2, n. 1, p. 14–23, Mar 1986. ISSN 0882-4967.
- BROOKS, R. A. Intelligence without representation. **Artif. Intell.**, Elsevier Science Publishers Ltd., Essex, UK, v. 47, n. 1-3, p. 139–159, feb 1991. ISSN 0004-3702. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0004-3702\(91\)90053-M](http://dx.doi.org/10.1016/0004-3702(91)90053-M)>.
- BROWN, L.; KERWIN, R.; HOWARD, A. Applying behavioral strategies for student engagement using a robotic educational agent. In: **Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 4360–4365.
- BURGOON, J. K.; STERN, L. A.; DILLMAN, L. **Interpersonal adaptation: Dyadic interaction patterns**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2007.
- CELIBERTO JUNIOR, L. et al. Reinforcement learning with case-based heuristics for robocup soccer keepaway. In: **Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium (SBR-LARS), 2012 Brazilian**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 7–13.
- CHOI, J. J.; KIM, Y.; KWAK, S. The autonomy levels and the human intervention levels of robots: The impact of robot types in human-robot interaction. In: **Robot and Human Interactive Communication, 2014 RO-MAN: The 23rd IEEE International Symposium on**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1069–1074.
- CROWDER, R. et al. Maintenance of robotic systems using hypermedia and case-based reasoning. In: **Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA '00. IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2000. v. 3, p. 2422–2427 vol.3. ISSN 1050-4729.
- DOBRA, A. General classification of robots. size criteria. In: **Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), 2014 23rd International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6.
- ERESHA, G. et al. Investigating the influence of culture on proxemic behaviors for humanoid robots. In: **IEEE. RO-MAN, 2013 IEEE**. [S.l.], 2013. p. 430–435.
- FEIL-SEIFER, D.; MATARIĆ, M. Using proxemics to evaluate human-robot interaction. In: **Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction**. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2010. (HRI '10), p. 143–144. ISBN 978-1-4244-4893-7. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1734454.1734514>>.

- FLOYD, M.; ESFANDIARI, B. A case-based reasoning framework for developing agents using learning by observation. In: **Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2011 23rd IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 531–538. ISSN 1082-3409.
- GIOVANNANGELI, C.; GAUSSIER, P. Human-robot interactions as a cognitive catalyst for the learning of behavioral attractors. In: **Robot and Human interactive Communication, 2007. RO-MAN 2007. The 16th IEEE International Symposium on**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1028–1033.
- GOODRICH, M. A.; SCHULTZ, A. C. Human-robot interaction: A survey. **Found. Trends Hum.-Comput. Interact.**, Now Publishers Inc., Hanover, MA, USA, v. 1, n. 3, p. 203–275, jan. 2007. ISSN 1551-3955. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1561/1100000005>>.
- HALL, E. T. **The Hidden Dimension**. [S.l.]: Anchor Books New York, 1969.
- HANSEN, S.; BAK, T.; RISAGER, C. An adaptive game algorithm for an autonomous, mobile robot - a real world study with elderly users. In: **RO-MAN, 2012 IEEE**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 892–897. ISSN 1944-9445.
- HEENAN, B. et al. Designing social greetings in human robot interaction. In: **Proceedings of the 2014 Conference on Designing Interactive Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2014. (DIS '14), p. 855–864. ISBN 978-1-4503-2902-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2598510.2598513>>.
- HEGEL, F.; LOHSE, M.; WREDE, B. Effects of visual appearance on the attribution of applications in social robotics. In: **Robot and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 64–71. ISSN 1944-9445.
- HEMMERT, F. et al. Animate mobiles: Proxemically reactive posture actuation as a means of relational interaction with mobile phones. In: **Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction**. New York, NY, USA: ACM, 2013. (TEI '13), p. 267–270. ISBN 978-1-4503-1898-3. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2460625.2460669>>.
- HENKEL, Z. et al. Evaluation of proxemic scaling functions for social robotics. **Human-Machine Systems, IEEE Transactions on**, v. 44, n. 3, p. 374–385, June 2014. ISSN 2168-2291.
- _____. A proxemic-based hri testbed. In: **Proceedings of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (PerMIS '12), p. 75–81. ISBN 978-1-4503-1126-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2393091.2393108>>.
- HENKEL, Z.; MURPHY, R. R.; BETHEL, C. L. Towards a computational method of scaling a robot's behavior via proxemics. In: **Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (HRI '12), p. 145–146. ISBN 978-1-4503-1063-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2157689.2157727>>.
- HIATT, L. M.; HARRISON, A. M.; TRAFFTON, J. G. Accommodating human variability in human-robot teams through theory of mind. In: **Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume Volume Three**. AAAI Press, 2011. (IJCAI'11), p. 2066–2071. ISBN 978-1-57735-515-1. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5591/978-1-57735-516-8/IJCAI11-345>>.

- JIANG, B. et al. A dynamic appearance descriptor approach to facial actions temporal modeling. **Cybernetics, IEEE Transactions on**, v. 44, n. 2, p. 161–174, Feb 2014. ISSN 2168-2267.
- JUNG, C. The archetypes and the collective unconscious. Routledge, 1991.
- JUNG, Y. et al. Designing a cognitive case-based planning framework for home service robots. In: **Robot and Human interactive Communication, 2007. RO-MAN 2007. The 16th IEEE International Symposium on**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 827–832.
- LAMBERT, D. **Body Language One Hundred and One**. [S.l.]: Skyhorse Publishing Inc., 2008.
- LOOI, Q. E.; SEE, S. L. Applying politeness maxims in social robotics polite dialogue. In: **Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (HRI '12), p. 189–190. ISBN 978-1-4503-1063-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2157689.2157749>>.
- LÓPEZ, B. **Case-based reasoning: a concise introduction**. [S.l.]: Morgan & Claypool Publishers, 2013. 1–103 p.
- MAHALANOBIS, P. C. On the generalized distance in statistics. In: **NEW DELHI. Proceedings of the National Institute of Sciences of India**. [S.l.], 1936. v. 2, n. 1, p. 49–55.
- MASIERO, A. A. Algoritmo de agrupamento por similaridade aplicado a criação de personas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil, 2013. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da FEI. Disponível em: <<http://tede.fei.edu.br/tede/>>.
- MEAD, R.; ATRASH, A.; MATARIĆ, M. J. Automated analysis of proxemic behavior: Leveraging metrics from the social sciences. In: **In Proceedings of the 2011 Robotics: Science and Systems Workshop on Human-Robot Interaction: Perspectives and Contributions**. [S.l.: s.n.], 2011.
- _____. Recognition of spatial dynamics for predicting social interaction. In: **Proceedings of the 6th International Conference on Human-robot Interaction**. New York, NY, USA: ACM, 2011. (HRI '11), p. 201–202. ISBN 978-1-4503-0561-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1957656.1957731>>.
- _____. Representations of proxemic behavior for human-machine interaction. In: **CITESEER. NordiCHI 2012 Workshop on Proxemics in Human-Computer Interaction**. [S.l.], 2012.
- _____. Automated proxemic feature extraction and behavior recognition: Applications in human-robot interaction. **International Journal of Social Robotics**, Springer Netherlands, v. 5, n. 3, p. 367–378, 2013. ISSN 1875-4791. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12369-013-0189-8>>.
- MEAD, R.; MATARIĆ, M. J. A probabilistic framework for autonomous proxemic control in situated and mobile human-robot interaction. In: **Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (HRI '12), p. 193–194. ISBN 978-1-4503-1063-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2157689.2157751>>.

- _____. Autonomous control of human-robot spacing: A socially situated approach. In: **Proceedings of the 1st Symposium on Spatial User Interaction**. New York, NY, USA: ACM, 2013. (SUI '13), p. 91–91. ISBN 978-1-4503-2141-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2491367.2491402>>.
- _____. Probabilistic models of proxemics for spatially situated communication in hri. ACM, 2014.
- MINATO, T. et al. Cb2: A child robot with biomimetic body for cognitive developmental robotics. In: **Humanoid Robots, 2007 7th IEEE-RAS International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 557–562.
- OKITA, S. Y.; NG-THOW-HING, V.; SARVADEVABHATLA, R. K. Captain may i?: Proxemics study examining factors that influence distance between humanoid robots, children, and adults, during human-robot interaction. In: **Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (HRI '12), p. 203–204. ISBN 978-1-4503-1063-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2157689.2157756>>.
- PARK, H. W.; HOWARD, A. Providing tablets as collaborative-task workspace for human-robot interaction. In: **Human-Robot Interaction (HRI), 2013 8th ACM/IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 207–208. ISSN 2167-2121.
- SAMADI, F. Human age-group estimation based on anfis using the hog and lbp features. Citeseer, 2013.
- SHAN, C. Learning local binary patterns for gender classification on real-world face images. **Pattern Recognition Letters**, v. 33, n. 4, p. 431 – 437, 2012. ISSN 0167-8655. Intelligent Multimedia Interactivity. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167865511001607>>.
- SHERIDAN, T. B.; VERPLANK, W. L. **Human and computer control of undersea teleoperators**. [S.l.], 1978.
- SRINIVASAN, T. et al. Cbrrobosoc: An efficient planning strategy for robotic soccer using case based reasoning. In: **Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents Web Technologies and International Commerce**. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006. (CIMCA '06), p. 113–. ISBN 0-7695-2731-0. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/CIMCA.2006.64>>.
- SRINIVASAN, V.; HENKEL, Z.; MURPHY, R. Social head gaze and proxemics scaling for an affective robot used in victim management. In: **Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2012 IEEE International Symposium on**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1–2.
- TORTA, E. et al. Design of robust robotic proxemic behaviour. In: MUTLU, B. et al. (Ed.). **Social Robotics**. Springer Berlin Heidelberg, 2011, (Lecture Notes in Computer Science, v. 7072). p. 21–30. ISBN 978-3-642-25503-8. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25504-5_3>.
- VÁZQUEZ, M. et al. Spatial and other social engagement cues in a child-robot interaction: Effects of a sidekick. In: **Proceedings of the 2014 ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction**. New York, NY, USA: ACM, 2014. (HRI '14), p. 391–398. ISBN 978-1-4503-2658-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2559636.2559684>>.

- WALTERS, M. L. et al. An empirical framework for human-robot proxemics. **Procs of New Frontiers in Human-Robot Interaction**, 2009.
- WANG, S.; MIN, H. Experience mixed the modified artificial potential field method. In: **Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 4823–4828. ISSN 2153-0858.
- WANGENHEIM, C. A. G. von; WANGENHEIM, A. v. A. von. **Raciocínio baseado em casos**. [S.l.]: Editora Manole Ltda, 2003.
- WEISS, A. **Validation of an evaluation framework for human-robot interaction. The impact of usability, social acceptance, user experience, and societal impact on collaboration with humanoid robots**. Tese (Doutorado), 2010.
- YANG, Z.; AI, H. Demographic classification with local binary patterns. In: LEE, S.-W.; LI, S. (Ed.). **Advances in Biometrics**. Springer Berlin Heidelberg, 2007, (Lecture Notes in Computer Science, v. 4642). p. 464–473. ISBN 978-3-540-74548-8. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74549-5_49>.
- YLIOINAS, J.; HADID, A.; PIETIKAINEN, M. Age classification in unconstrained conditions using lbp variants. In: **Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1257–1260. ISSN 1051-4651.