

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

ANDREY ARAUJO MASIERO

**ALGORITMO PARA APRENDIZADO DO COMPORTAMENTO SOCIAL DO ROBÔ
NA APROXIMAÇÃO FÍSICA DO SER HUMANO**

São Bernardo do Campo

2017

ANDREY ARAUJO MASIERO

**ALGORITMO PARA APRENDIZADO DO COMPORTAMENTO SOCIAL DO ROBÔ
NA APROXIMAÇÃO FÍSICA DO SER HUMANO**

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. Flavio Tonidandel.

São Bernardo do Campo

2017

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.

À minha companheira Marília, que sem seu apoio, compreensão, dedicação à nós durante todo o período mais difícil dessa tese esteve ao meu lado sem se quer reclamar.

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.

Ao professor e orientador Plínio 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 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 propõe 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, Aprendizado de Máquina, Interação Humano-Robô

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, Machine Learning, Human-Robot Interaction

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Zonas de Proximidades	18
Ilustração 2 – Os robôs Chester e Blink.	30
Ilustração 3 – Robô ActivMedia Robotics PeopleBot.	41
Ilustração 4 – Projeto do Novo Manipulador do PeopleBot.	42
Ilustração 5 – Projeto da Cabeça para o PeopleBot.	42
Ilustração 6 – Processo para a extração das características do indivíduo.	44
Ilustração 7 – Rede bayesiana construída para auxiliar no diagnóstico e tomada de decisão da aproximação ao indivíduo.	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	11
1.1.1	Objetivo Principal	11
1.1.2	Objetivos Secundários	11
1.2	Hipóteses	11
1.3	Motivação	12
1.4	Justificativa	12
1.5	Metodologia	13
1.6	Estrutura do Trabalho	13
2	INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ	15
3	PROXEMICS	18
3.1	<i>Proxemics</i> e Interação Humano-Computador	20
3.2	<i>Proxemics</i> e Interação Humano-Robô	20
4	RACIOCÍNIO PROBABILÍSTICO	34
4.1	Redes Bayesianas	36
4.1.1	Métodos de Inferência	39
5	PROPOSTA	40
5.1	O Robô	41
5.2	Extração das Características	43
5.2.1	Selecionando Variáveis do Indivíduo	45
5.2.1.1	<i>Conjunto de Variáveis Etnográficas</i>	45
5.2.1.2	<i>Conjunto de Variáveis Comportamentais</i>	47
5.2.2	Selecionando as Variáveis para o Robô	48
5.3	Rede Bayesiana para Auxiliar na Aproximação do Robô	50
6	CENÁRIOS DE TESTE	53
6.1	Cenário 1 - Aproximação do Robô	53
6.1.1	Objetivo	53
6.1.2	Foco	53
6.1.3	Configuração para o Teste	53
6.1.3.1	<i>Pessoa</i>	53
6.1.3.2	<i>Robô</i>	54
6.1.4	Tarefa	55
6.1.5	Arquivo de Log	55
6.2	Cenário 2 - Validação do Aprendizado do Robô	55
6.3	Seleção das Pessoas para o Teste	55
7	RESULTADOS ESPERADOS	57
8	CONCLUSÕES PARCIAIS	58

REFERÊNCIAS	59
------------------------------	-----------

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 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 res-

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

²<https://www.jibo.com/>

peito 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. Todavia, 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 imediata 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 mantêm 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 para aumentar a probabilidade de uma aproximação física com o intuito de iniciar uma interação humano-robô que atenda as normas sociais.

1.1.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários almejados nessa tese são: (I) Construção de um *framework* para aprendizado da aproximação física para interação entre humanos e robôs; (II) Conseguir encapsular o conhecimento sobre o aprendizado de interação para que seja fácil aplicá-lo em diversos robôs.

1.2 HIPÓTESES

Como hipóteses de comprovação essa tese apresenta:

- a) O comportamento do robô tem maior influência na interação social do que sua aparência;

- b) É necessário pelo menos uma mídia de saída para que o robô possa interagir dentro das normas sociais;
- c) Padrões de comportamento de interação social são definidos com base na cultura, porém a experiência de vida do indivíduo aumenta as possibilidades de interação humano-robô.

1.3 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 prever 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.

1.4 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.

1.5 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.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta tese é composta por um total de 9 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 introduz a área de **Interação Humano-Robô**, contando um pouco da história e importância dela para o futuro.

O capítulo 3 apresenta o conceito de análise comportamental chamado *Proxemics*, que tem como objetivo o estudo do espaço social durante a interação.

O capítulo 4 apresenta o conceito de **raciocínio probabilístico**, utilizando como uma aproximação para minimizar o problema apresentado.

O capítulo 5 apresenta a **proposta** da solução para o problema apresentado por esta tese.

O capítulo 6 apresenta os **cenários de teste** que serão realizados para a validação da proposta desta tese.

O capítulo 7 apresenta os **resultados esperados** por esta tese.

O capítulo 8 apresenta as **conclusões parciais** observadas ao longo dos estudos para essa 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 deva ocorrer de maneira menos invasiva e mais colaborativa. O primeiro guia da IHR apareceu em um trabalho de ficção científica de Isaac Asimov, que é apresentado, ao longo do texto, o que considera-se as primeiras leis da robótica. A primeira lei fala que um robô não pode ferir um ser humano e também deve protegê-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 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 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 no mesmo local, compartilhando o mesmo espaço), por exemplo, em indústrias ou residências como o robô Roomba (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

Robôs teleoperados são 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 robótica para resgate em catástrofes, onde existe riscos a 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 adotadas pequenas perspectivas sobre soluções de problemas 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 é afetada 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

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

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 conta própria. 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 é 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 (R. BROOKS, 1986; R. A. 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, os estudos de interação entre humanos e robôs não se limitam 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 em 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-lo 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 formato de uma criança, mais precisamente um bebê, para realizar estudos de interação e principalmente a capacidade da cognição do robô durante a interação.

Ao observar os trabalhos relacionados a IHR, pode-se perceber que quando existe uma interação social, o primeiro passo é a aproximação entre dois agentes. Dessa forma, existe a necessidade do robô aprender como se comportar, de acordo com as normas sociais, durante a aproximação de um ser humano. Assim, um modelo é apresentado com o objetivo principal

voltado para o mapeamento do espaço social e também a análise do comportamento humano. Este modelo tem como sua essência um conceito apresentado por Hall (1969), chamado de *Proxemics*. O modelo serve de base para essa tese e é apresentada em detalhes no capítulo 3.

3 PROXEMICS

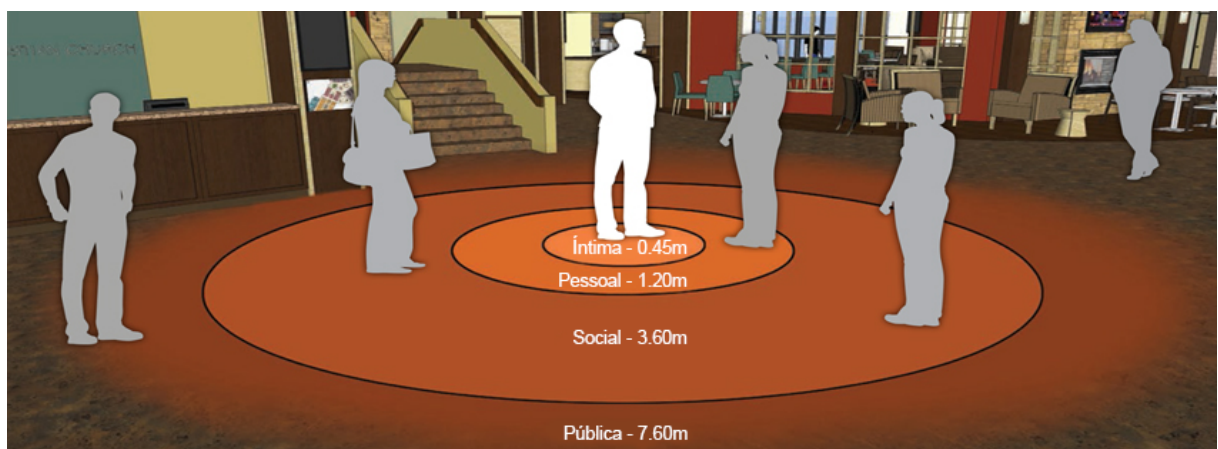
As pessoas, quando convivem em sociedade, tendem a respeitar o espaço existente entre cada indivíduo. Esse fenômeno é determinado como espaço social, sendo este medido através da distância social que é um dos princípios fundamentais para uma interação social com qualidade (HALL, 1969; Z. HENKEL et al., 2014). A análise do comportamento das pessoas e a relação da 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, onde eles fiquem posicionados frente a frente e/ou próximos entre si (MEAD; ATRASH; Maja J 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.

Com base na teoria de Hall (1969), pode-se ilustrar o seguinte cenário como 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. Além disso, variáveis como gênero e idade também influenciam na relação espacial de interação entre indivíduos.

Apesar da observação sobre as variáveis que podem influenciar na relação da distância social, Hall (1969) não formalizou nenhuma regra sobre a distância social para interações entre indivíduos. Assim, Argyle (1988) definiu quatro zonas de proximidades, formalizando regras para distância social nas interações entre indivíduos. 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) na formalização do espaço social.

Figura 1 – Zonas de Proximidades



Fonte: 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 maior volume do que a zona de proximidade íntima que, por estarem muito próximos os indivíduos acabam se comunicando com sons mais baixos ou até mesmo 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 maior intensidade, movimentos mais amplos e até com uma força física maior que nas regiões mais próximas, onde há a probabilidade maior do indivíduo se assustar com esse tipo de comportamento (Z. 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 pessoas inseridas nas 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; Z. HENKEL et al., 2014). Isso pode influenciar diretamente no estabelecimento do ponto focal da interação.

Algo que pode ser feito para trabalhar mais próximo do ponto focal da interação é a aproximação entre os agentes, fazendo com que essa interação possua menos ruídos. Para que essa aproximação ocorra com sucesso, alguns fatores são importantes, como velocidade de aproximação, gestos e ruídos emitidos, entre outros fatores. Sendo assim, não é apenas o espaço social que a teoria de *Proxemics* se refere, mas também à análise comportamental dos agentes envolvidos na interação. Algumas variáveis que são utilizadas para a leitura corporal também são utilizadas na análise comportamental. Mead, Atrash e Maja J 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 orientação da cabeça; e (V) fixação do olhar entre os indivíduos. Todas as variáveis apresentadas por Mead, Atrash e Maja J 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 de acordo com Z. Henkel et al. (2014) e este número continua em constante crescimento. Contudo, não é apenas em IHR que o tema de *Proxemics* é abordado. Trabalhos relacionados a tecnologia móvel e realidade virtual, também utilizam o tema com o intuito de melhorar a interação dos sistemas de maneira geral. Assim, a próxima seção apresentará os trabalhos relacionados que abordam o tema da *Proxemics* e tecnologias, seguido pela abordagem em IHR, sempre tentando demonstrar o vínculo dos trabalhos apresentados e a tese defendida neste texto.

3.1 PROXEMICS E INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR

Hemmert et al. (2013) apresentam um trabalho que tem como objetivo a aplicação de *Proxemics* 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), onde a parte mais observada é o comportamento do usuário na interação com os diversos sistemas e dispositivos. 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.

No trabalho proposto por Kastanis e Slater (2012) é apresentado um modelo de aprendizado por reforço aplicado a aproximação de uma pessoa a um avatar em um mundo virtual. O conceito de proximidade é aplicado com o intuito de validar se a tarefa de aproximação foi atingida com sucesso. Apenas 1 participante não alcançou o objetivo de 10, em um dos grupos. Ao todo das 20 pessoas que interagiram com o avatar utilizando aprendizado por reforço, apenas 3 não chegaram a uma posição de zona íntima. Não foi avaliado no trabalho de aprendizado por reforço é a melhor técnica para isso, porém o algoritmo Q-Lambda atendeu ao experimento proposto.

3.2 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 indivíduo, pois dependendo de como o som é emitido pode gerar insegurança ao indivíduo 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 comportamento de aproximação adequado ao seu objetivo, utilizando um modelo de espaço pessoal.

O modelo utilizado considera a relação entre a orientação do robô em conjunto com a distância do objetivo e a avaliação do indivíduo para orientar a 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, Z. Henkel e R. 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 resgate 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. Dois cenários de simulação foram utilizados para validar o método proposto: 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 (SRINIVASAN; Z. HENKEL; R. MURPHY, 2012).

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; Z. HENKEL; R. MURPHY, 2012). Dessa forma, Srinivasan, Z. Henkel e R. Murphy (2012) esperam melhorar a abordagem com robôs às 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 aproximar-se sem nenhum tipo de aviso prévio e a outra maneira era exatamente avisar sua aproximação através de saudação via voz. 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; Maja J 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 Maja J Matarić (2011a) apresentam em seu trabalho um conjunto de métricas que são capazes de auxiliar na automatização 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 possibilitaram a validação do cenário apresentado por Mead, Atrash e Maja J Matarić (2011a).

Um cenário e ferramenta para coleta de informações sobre indivíduos em interação social são apresentados também por Mead, Atrash e Maja J 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; Maja J MATARIĆ, 2011b).

Em um trabalho posterior, Mead, Atrash e Maja J Matarić (2012) apresentam uma discussão sobre os tipos de representações de variáveis 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. Os tipos psicofísicos 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; Maja J MATARIĆ, 2012).

Outro trabalho de Mead e Maja J 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 predizer a distância aproximada entre o robô e o indivíduo. Esse trabalho é implementado através de uma rede Bayesiana dinâmica como uma evolução para o mecanismo apresentado em trabalhos anteriores (MEAD; Maja J 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, ou seja atendendo as normas sociais, 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; Maja J MATARIĆ, 2013).

Mead e Maja J 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, em outras palavras, a orientação do corpo representando assim uma linguagem corporal. A maior contribuição esperada por Mead e Maja J 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 Maja J Matarić (2013), é apresentado outro trabalho onde Mead, Atrash e Maja J Matarić (2013) discutem a utilização de um HMM para extração de características comportamentais espaciais do ser humano (apresentadas na tabela 1), 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 Maja J Matarić (2013) analisam a possibilidade de automatizar o processo de análise das *Proxemics*. A intenção do trabalho é extrair variáveis (vide tabela 1) para que seja, então, possível determinar o início da interação, dado pela aproximação em direção do indivíduo, e o fim da interação social, que é o chamado de fuga social ou o afastamento para uma zona social mais pública sem intenção de uma reaproximação, 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 Maja J 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 pacote criado para o ROS (*Robot Operating Systems*).

Mead e Maja J 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 (vide tabela 1), 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 Maja J Matarić (2014) auxiliaram na coleta de informações sobre o volume da fala de acordo com a distância, medida em polegadas, 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

Tabela 1 – Variáveis Comportamentais apresentadas por Mead e Maja J Matarić (2013)

Características Individuais	
<i>Stance Pose</i>	Orientação da postura do corpo
<i>Hip Pose</i>	Orientação do quadril
<i>Torso Pose</i>	Orientação do tronco
<i>Shoulder Pose</i>	Orientação dos ombros
<i>Head Pose</i>	Orientação da cabeça
<i>Hip Torque</i>	Torsão do quadril
<i>Shoulder Torque</i>	Torsão dos ombros
<i>Head Torque</i>	Torsão da cabeça
Características Físicas	
Distância Total	Calculada com base na distância euclidiana entre os dois agentes
<i>Straight-Ahead Distance</i>	Magnitude no eixo X
Distância Lateral	Magnitude no eixo Y
Orientação Relativa do Corpo	Diferença da distância entre dois agentes
Características Psicofísicas	
<i>Distance Code</i>	Variável baseada na distância total
<i>Socialfugal-SocioPetal Axis Code</i>	Variável baseada na orientação do corpo
<i>Visual Code</i>	Variável baseada na posição da cabeça
<i>Voice Loudness Code</i>	Variável baseada na distância total
<i>Kinesthetic Code</i>	Variável baseada na distância entre a posição do quadril, tronco, ombros e braços
<i>Olfaction Code</i>	Variável baseada na distância total
<i>Thermal Code</i>	Variável baseada na distância total
<i>Touch Code</i>	Variável baseada na distância total

Fonte: Adaptado de Mead e Maja J Matarić (2013).

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 Maja J 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.

Duas bibliotecas que colaboram para a execução de trabalhos com interação humano e robô, focadas em robótica assistiva e social, são apresentadas por Mead, Atrash, Kaszubski et al. (2014). A primeira biblioteca é chamada de *Social Behavior Library* (SBL) que tem o objetivo de prover os controles adequados para o robô saber como executar uma tarefa. Ela trata as questões do comportamento social do robô, como por exemplo, saber respeitar o espaço de uma pessoa. A segunda é a *Social Interaction Manager* (SIM) que está focada em tomadas de decisão no mundo real. As técnicas aplicadas são para resolver problemas de reconhecimento, tomada de decisão e aprendizado, ou seja, informa ao robô o que ele deve fazer em uma determinada situação.

Um framework para trabalhar com proximidade entre humano e robô, é apresentado por Mead e Maja J. Matarić (2016). O processo proposto é dividido em três etapas, que compõe este framework. A primeira etapa é a estimativa das ações para se aproximar e ficar com o robô frente a frente com o ser humano, pois é afirmado pelos autores que a melhor maneira de promover uma interação é posicionando os agentes olhando de frente um para o outro. Para realizar essa estimativa foi criada uma rede bayesiana que considera a posição relativa entre humano e robô, altura do som emitido pelo ser humano e o percebido pelo robô, e também os gestos emitidos e percebidos em cada zona de proximidade. Depois de estimar a posição final o robô realiza cálculos para determinar a distância que será percorrida, e também as diferenças entre os ângulos referentes a orientação do robô para pessoa e da pessoa para o robô. Isso resulta na diferença entre orientação atual para orientação objetivo. Como passo final, o robô realiza o planejamento de trajetória global que é ajustado ao longo do caminho considerando não só o ambiente ao redor, mas também o rastreamento dos movimentos da pessoa que ele está em busca da interação, já que é considerado que a pessoa está em constante movimento. Esse procedimento melhorou o encontro entre seres humanos e robôs dados face a face.

Definir um conjunto de variáveis para estudos com interação humano-robô é o foco do trabalho apresentado por Joosse, Sardar e Evers (2011). O conjunto de variáveis apresentados tem o objetivo de avaliar as respostas humanas durante a interação. O primeiro conjunto de variáveis apresentados, correspondem a medidas para atitudes pessoais, veja abaixo:

- a) **Aparência do robô com o humano:** o quão próximo de um ser humano o robô é. Essa é uma medida feita através de uma escala Likert de sete pontos, com tópicos como “*Human-made - Humanlike*” ou “sem gênero - masculino ou feminino”.
- b) **Atitudes em relação ao robô:** refere-se a atitudes negativas que o robô pode gerar socialmente. Também é medido através de uma escala Likert de 7 pontos.
- c) **Confiança no robô:** refere-se a confiança da pessoa no robô que interage com ela. Escala Likert de 7 pontos com credibilidade de fonte.
- d) **Aparente habilidade social do robô:** para medir as habilidades é utilizado uma escala likert de 5 itens chamada Wish & Kaplan. Esse método originalmente possui uma escala bipolar de 9 pontos, porém foi revertida em uma escala Likert de 7 pontos.
- e) **Atração física e social do robô:** inclui-se itens de escala de atração interpessoal, que originalmente possuem uma escala de Likert 7 pontos com 15 itens. Porém foi realizado uma adaptação com a exclusão de 5 itens, matendo apenas 10 itens que representam as atrações físicas e sociais.

Além da lista sobre atitudes pessoais, Joosse, Sardar e Evers (2011) apresentam medidas comportamentais que são preenchidas pelo especialista através da observação do video feito durante o teste. Nas medidas comportamentais ele deve marcar se houve repostas de linguagem

corporal como se afastar do robô ou se houve um inclinação em direção ao robô. Também são inclusas expressões faciais como sorrindo ou se parecia assustado.

Para validar a proposta de Joosse, Sardar e Evers (2011) foi utilizado um cenário, onde o ser humano fica parado em frente a alguns quadros, observando-os, e após um certo período de tempo o robô se aproxima com uma determinada velocidade. Um vídeo é gravado com todo o processo do teste. Após o processo de teste concluído, os vídeos são analisados e o questionário criado é preenchido e depois quantificado para realizar a análise estatística.

Durante as análises realizadas percebeu-se que as habilidades sociais não interferiam nas reações do ser humano durante a interação. Dessa maneira, todos os pontos sobre habilidades sociais foram removidos do questionário. Apesar de terem removido os pontos sobre habilidades sociais do robô, Joosse, Sardar e Evers (2011) acreditam que é um ponto importante e deve ser investigado com mais calma, pois pode apresentar resultados importantes para o processo de interação.

A questão de reconhecimento de expressão facial e características faciais de movimento podem ser úteis no futuro para ajuda na avaliação das emoções das pessoas. Joosse, Sardar e Evers (2011) esperam que este arcabouço de questões, seja utilizado em mais pesquisas para tentar fazer com que ele torne-se mais robusto.

Analisando 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 a aproximação do ser humano. 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 extra-culturais, porém é necessário realizar um tratamento para esse tipo de condição verificando a origem do indivíduo, onde o robô possa interagir com mais qualidade com pessoas que possuem diferentes experiências culturais.

Zachary Henkel, Robin Murphy 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 Zachary Henkel, Robin Murphy 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 (Zachary HENKEL; Robin MURPHY 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, Z. 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 resgate à vítimas. Quando a função logarítmica foi aplicada, os resultados apresentados foram melhores do que os obtidos com as demais funções. Como o principal objetivo de Z. 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 nuances 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 nuances 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.

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 compreendê-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

Figura 2 – Os robôs Chester e Blink.



Fonte: Vázquez et al. (2014).

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, dando a sensação de robô completamente autônomo. 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 M. Matarić (2010) é automatizar esse processo de análise através do uso de robôs. Para isso foi desenvolvido um classificador heurístico que utiliza um conhecimento prévio para auxiliar à 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; M. 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; M. 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; M. 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 (Zachary HENKEL; R. R. 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* (Zachary HENKEL; R. R. 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 (Zachary HENKEL; R. R. 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 Zachary Henkel, R. R. 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 (Zachary HENKEL; R. R. MURPHY; BETHEL, 2012).

A. G. Brooks e Arkin (2007) apresentam um modelo comportamental em camadas para auxiliar no processo de comunicação não verbal do robô com o ser humano. Um comportamento em camadas é definido como um processamento de saída a nível dos motores (atuadores) do robô, onde é realizado uma sequência de passos para deixar o movimento do robô mais natural ao do ser humano. Neste trabalho é discutido uma generalização do modelo para que seja possível aplicar em diversas plataformas robóticas e fontes de informação.

No trabalho é explorado a questão de linguagem corporal, pois expressões faciais já são amplamente utilizadas para estudos de interação humano e robô. A. G. Brooks e Arkin (2007) apresenta a implementação funcional de seu modelo em um robô Sony QRIO. Alguns dos resultados apresentados são que o tamanho do robô pode influenciar no tipo de interação que ocorrerá, que a utilização da teoria de proximidade é essencial para que ocorra uma boa interação e que comunicações não verbais são a principal forma de comunicação em uma interação humano e robô.

Um dos pontos 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 5.2 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.

4 RACIOCÍNIO PROBABILÍSTICO

Para que um agente possa tomar uma decisão, é necessário que ele analise todas as possibilidades de ações que possam ser feitas e o que ocorrerá após essa tomada de decisão para que exista uma certeza sobre o caminho que ele deve seguir. O processo para encontrar a certeza sobre uma decisão, computacionalmente, é oneroso e com a quantidade de variáveis geralmente consideradas, torna-se inviável. Sendo assim, um agente precisa trabalhar com a incerteza sobre o domínio para que possa ser tomada uma decisão (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Fazer o agente tomar uma decisão considerando a incerteza, é fazer o agente manter o controle baseado em um estado de crença, em outras palavras, um conjunto com todos os possíveis estados em um domínio ao qual ele possa estar. Além disso, o agente deve prever e gerar um plano de contingência para eventuais situações que sejam detectadas durante a execução do algoritmo. Nesses problemas, as informações que o agente possui não conseguem garantir nenhum resultado com certeza absoluta. Porém, tais informações garantem um grau de crença de que o objetivo será alcançado ou a decisão por um caminho relevante será tomada (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Todas as declarações feitas com base na crença sobre as informações não se contradizem mutuamente. Cada uma é uma afirmação separada de um diferente estado de conhecimento. Cada vez que inserimos uma informação nova e complementar, é aumentado o estado de crença sobre um determinado assunto, melhorando a tomada de decisão do agente (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Para que a tomada de decisão tenha uma maior utilidade para o agente, ele deve preferências dentre os diferentes resultados apresentados. Sendo assim, ter uma decisão com base apenas na probabilidade, não é recomendável. Essa é a base da teoria da utilidade. A teoria da utilidade é utilizada para que o agente represente e raciocine em seu problema, de acordo com suas preferências. É distribuído um grau de utilidade para cada escolha que o agente possa ter, assim o estado que possui o maior grau de utilidade é escolhido. Pode-se dizer então que uma decisão é tomada com base na probabilidade de um estado somado a sua utilidade (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Utilizar as teorias de probabilidade e utilidade, necessita de algumas formalizações e notações, para que as equações sejam melhor compreendidas. A primeira formalização é a equação 1 que representa a probabilidade condicional para quaisquer proposições A e B (RUSSELL; NORVIG, 2002).

$$P(a|b) = \frac{P(a \wedge b)}{P(b)} \quad (1)$$

A equação 1 é válida apenas para $P(b) > 0$. Essa equação também pode ser escrita no formato de produto, conforme apresentado na equação 2.

$$P(a \wedge b) = P(a|b)P(b) \quad (2)$$

As proposições de uma equação são determinadas pelas variáveis aleatórias de um problema. Uma variável aleatória é representada através de um nome ao qual sua primeira letra deve ser maiúscula, por exemplo, *Total*, *Tempo* ou *Informacao*. Cada variável aleatória possui um domínio, que representa os possíveis valores que esta variável pode assumir. Os valores são descritos utilizando todas as letras em caixa baixa, ou seja, minúsculas, por exemplo, $Tempo = \{ensolarado, chuvoso, nublado, nevando\}$. Quando uma variável é booleana, podem ser nomeadas com se fossem valores (em minúsculo) e utiliza-se a regra de negar o valor para representar os valores de falso e verdadeiro (RUSSELL; NORVIG, 2002).

O exemplo da representação de uma variável booleana através de valores é demonstrado através das equações 3.

$$A = verdadeiro \rightarrow a \quad (3a)$$

$$A = falso \rightarrow \neg a \quad (3b)$$

Em teoria de probabilidade, quando trata-se um problema, é procurado mundos possíveis. Um mundo possível é definido como uma atribuição de valores para cada uma das variáveis aleatórias consideradas em um problema. Para realizar a atribuição dos valores, pode-se trabalhar com diversos tipos de visão probabilística. A primeira é chamada de frequentista, onde o valor da probabilidade é determinado através de observações à experimentos realizados com grandes amostras. Outro tipo encontrado é o objetivista que define as probabilidades como aspectos reais, ou seja, como tendências dos comportamentos dos objetos dentro de um cenário específico (RUSSELL; NORVIG, 2002).

A visão subjetivista trabalha com os valores de probabilidades no formato que caracteriza a crença do agente ao invés de qualquer significado ligado ao mundo físico externo. Essa visão possui uma variante bayesiana que permite qualquer atribuição auto consistente de probabilidades anteriores à proposições, e também são capazes de atualizar os valores a medida que evidências ocorrem a partir do observador (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Todos os valores que um mundo possível tem, são descritos através de uma tabela chamada de tabela de distribuição conjunta. Essa tabela, em geral, possui uma quantidade de valores muito grande que inviabiliza o processamento das informações, levando ao mesmo cenário que apresenta a certeza de um agente sobre uma determinada decisão. Para que a quantidade de informação na tabela de distribuição conjunta seja minimizada e auxilie no processamento das informações para uma tomada de decisão, é necessário encontrar a independência condicional entre as variáveis do problema em questão. A independência de uma variável é importante, pois auxilia não só na redução da representação domínio, mas também na complexidade do problema (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Contudo, nem sempre o problema nos permite calcular todas as probabilidades, e algumas ainda são desconhecidas. Para que as probabilidades tornem-se possíveis de serem calculadas a partir de probabilidades condicionais conhecidas, tem-se a regra de Bayes. A regra de Bayes foi definida com base nas duas representações da regra do produto (vide equação 4) (RUSSELL; NORVIG, 2002).

$$P(a \wedge b) = P(a|b)P(b) \quad (4a)$$

$$P(a \wedge b) = P(b|a)P(a) \quad (4b)$$

Ao igualar os dois membros da direita, apresentados na equação 4, encontra-se a equação da regra de Bayes. Ela é apresentada através da equação 5 (RUSSELL; NORVIG, 2002).

$$P(b|a) = \frac{P(a|b)P(b)}{P(a)} \quad (5)$$

A regra de Bayes, ainda, pode ser condicionada a uma evidência prática denominada e , como apresentado na equação 6 (RUSSELL; NORVIG, 2002).

$$P(Y|X, e) = \frac{P(X|Y, e)P(Y|e)}{P(X|e)} \quad (6)$$

A aplicação da regra de Bayes é útil, pois a partir dela é possível perceber que existe um **efeito** sendo a evidência de alguma **causa** desconhecida e deseja-se saber o motivo que gerou àquela situação ou comportamento. Para ilustrar, a equação 7 apresenta a regra de Bayes a partir da relação de causa-efeito (RUSSELL; NORVIG, 2002).

$$P(causa|efeito) = \frac{P(efeito|causa)P(causa)}{P(efeito)} \quad (7)$$

A equação 7 pode ser igualada em dois sentidos, $P(efeito|causa)$ que busca quantificar a relação entre as variáveis na direção causal e $P(causa|efeito)$ que tem o objetivo de descrever a direção da relação em forma de diagnóstico. O conhecimento conseguido através da direção do diagnóstico é mais frágil que o conhecimento obtido através da direção causal do problema, porém em aplicações médicas a direção do diagnóstico é mais recomendada para aplicação em sistemas (RUSSELL; NORVIG, 2002).

4.1 REDES BAYESIANAS

Pode-se observar com o texto apresentado na seção anterior, que a distribuição de probabilidade conjunta total pode responder a qualquer questão dentro de um determinado domínio. Contudo, pela sua complexidade matemática a partir de um aumento no número de variáveis, torna-se intratável computacionalmente (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Sendo assim, uma maneira que existe para representar a distribuição de probabilidade conjunta total é a utilização de uma estrutura de dados chamada rede bayesiana. Um rede bayesiana é capaz de representar as dependências entre variáveis do domínio. Ela é definida como

um grafo acíclico orientado, onde cada nó é identificado através das informações quantitativas sobre sua probabilidade (RUSSELL; NORVIG, 2002). A especificação de uma rede bayesiana é:

- a) Cada nó corresponde a uma variável aleatória. Ela pode ser discreta ou contínua.
- b) Existe uma seta conectando pares de nós. Uma seta do nó X até o nó Y , indica que X é pai de Y . É por isso que o grafo de uma rede bayesiana é acíclico.
- c) Cada nó X_i tem uma distribuição de probabilidade condicional $P(X_i | Pais(X_i))$ que quantifica o efeito dos pais sobre o nó filho.

As setas de conexões entre os nós dão o significado de que os pais influenciam diretamente os filhos. Em termos de causa e efeito, significa que as causas devem ser organizadas como pais dos efeitos (RUSSELL; NORVIG, 2002).

A semântica de uma rede bayesiana pode ser tratada de duas maneiras: (I) a primeira como a representação da distribuição de probabilidade conjunta; (II) a outra maneira, é como a codificação de uma coleção de declarações de independência condicional. A primeira é utilizada para compreender a construção da rede, e a segunda em procedimentos de inferência sobre consultas (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Quando trata-se da representação da distribuição conjunta total, cada entrada é representada pelo produto dos elementos apropriados das tabelas de probabilidade condicional (TPCs) na rede bayesiana. Dessa forma, a distribuição conjunta total é utilizada para obter respostas sobre qualquer consulta no domínio. Sendo uma rede bayesiana a representação dessa distribuição, ela também obtêm qualquer resposta para consultas sobre o domínio. Para isso, basta efetuar um somatório de todas as entradas conjuntas relevantes (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Para que a representação da rede bayesiana sobre um conjunto seja correta, é necessário cada nó ser condicionalmente independente de seus predecessores após a sua ordenação, dados seus pais (RUSSELL; NORVIG, 2002). A seguinte metodologia é aplicada para satisfazer tal condição:

- a) **Nós:**
 - Determinar o conjunto de variáveis que são necessárias para modelar o domínio.
 - Ordene-as $\{X_1, \dots, X_n\}$. Não é necessário estabelecer uma ordem específica. Qualquer ordem funciona. Contudo, a rede poderá ser mais compacta, caso a ordem seja feita com as causas sendo os pais dos efeitos.
- b) **Vínculos:** Para $i = 1$ até n faça:
 - Escolha, de X_1, \dots, X_n , um conjunto mínimo de pais para X_i , tal que a equação 8 seja satisfeita.

- Para cada pai insira um vínculo do pai para X_i .
- **TPCs**: escreva a tabela de probabilidade condicional, $P(X_i|Pais(X_i))$

$$P(X_i|X_{i-1}, \dots, X_1) = P(X_i|Pais(X_i)), \quad (8)$$

desde que $Pais(X_i) \subseteq \{X_{i-1}, \dots, X_1\}$ (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Após o procedimento, é obtido os pais do nó X_i que contém todos os nós em X_1, \dots, X_{i-1} que possuem influencia direta em X_i . Esse método de construção da rede garante que ela seja acíclica, uma vez que cada nó é ligado apenas aos seus anteriores (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Uma maneira de garantir a consistência da construção da rede bayesiana, é fazer com que ela não possua valores de probabilidade redundantes ao longo de seus nós. Além disso, a rede bayesiana, em termos computacionais, é mais compacta ao se comparar com a distribuição conjunta total. Assim, o crescimento das variáveis de um domínio, não exercem grandes problemas durante o processo computacional de consultas (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Pode-se dizer também que um nó tem uma independência condicional de todos os outros nós da rede, dados os seus pais, filhos e pais dos filhos, ou seja, dada a cobertura de Markov. Em regras gerais, a relação de pai e filho pode ser descrita como uma distribuição canônica ajustável a um certo padrão ou forma. Assim, a partir de alguns poucos parâmetros é possível obter a tabela de probabilidade condicional. Essa abordagem facilita, pois diminui a quantidade de números informados à rede (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Uma distribuição canônica pode ser exemplificada através de um nó determinístico na rede. Esse tipo de nó tem o valor especificado, exclusivamente, pelos valores dos pais e sem nenhuma incerteza envolvida. Outro exemplo, é um nó numérico como, por exemplo, o nó filho ter atribuído o valor mínimo dentre todos os seus nós pais. Também pode-se aplicar aos nós filhos a soma dos fluxos de entrada subtraídos pelos fluxos de saída (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Porém, não é possível atribuir sempre valores certos aos nós da rede bayesiana. Dessa maneira, é necessário trabalhar com relacionamentos de incerteza. Esse tipo de relacionamento é caracterizado por relações de lógica ruidosos. Tais relações são chamadas de ou-ruidoso. O modelo ou-ruidoso permite que a incerteza as condições do pai faça que o filho torne-se verdadeiro. A situação colocada pelo modelo, faz com que o relacionamento causal pai-filho possa ser inibido. Este modelo trabalha com duas suposições (RUSSELL; NORVIG, 2002):

- a) todas as causas possíveis estão pressupostamente listadas. Pode-se considerar nós de vazamento, caso isso não ocorra.
- b) a inibição de cada pai é pressupostamente independente de quaisquer outro pai.

A partir das informações acima, é possível construir a tabela de probabilidade condicional inteira. Para isso, utiliza-se a regra geral dada pela equação 9 (RUSSELL; NORVIG, 2002).

$$P(x_i | \text{pais}(X_i)) = 1 - \prod_{\{j: X_j = \text{verdadeiro}\}}, \quad (9)$$

onde o produto é obtido dos pais que são definidos como verdadeiro para cada linha da tabela de probabilidade condicional. Os relacionamentos lógicos ruidosos podem ser descritos com $O(k)$ parâmetros, ao invés de $O(2^k)$ da TPC completa, considerando k pais (RUSSELL; NORVIG, 2002).

4.1.1 Métodos de Inferência

Quando obtêm-se uma observação de um evento qualquer, dentro de um domínio, espera-se que o sistema de inferência seja capaz de calcular a distribuição de probabilidade posterior para o conjunto de variáveis de consulta. Essa é sua tarefa básica. Ele deve atribuir valores ao conjunto de variáveis de evidência (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Um algoritmo utilizado para inferência é o por enumeração. Ele calcula soma-produtos das probabilidades condicionais na rede. Contudo, esse algoritmo pode ser melhorado substancialmente ao eliminar os cálculos repetidos. A ideia de eliminar cálculos funciona da seguinte maneira, após a execução do cálculo pela primeira vez, armazena-se os resultados para futura utilização. É a ideia básica da programação dinâmica. O algoritmo que apresenta a menor complexidade para essa tarefa é chamado de algoritmo de eliminação de variáveis (vide algoritmo 1) (RUSSELL; NORVIG, 2002).

Algoritmo 1 – Algoritmo de eliminação de variáveis para inferência nas redes bayesianas (RUSSELL; NORVIG, 2002)

```

1 função ASK-ELIMINACAO( $X$ ,  $e$ ,  $rb$ ) retorna uma distribuição sobre  $X$ 
2 Entrada:
    $X$ , a variável de consulta
    $e$ , variáveis observadas da variável  $E$ 
    $rb$ , uma rede bayesiana especificando a distribuição conjunta  $P(X_1, \dots, X_n)$ 
3  $fatores \leftarrow []$ 
4 para cada  $var$  em  $ORDEM(rb.VARS)$  faça
5    $fatores \leftarrow [CRIAR-FATOR(var, e)fatores]$ 
6   se  $var$  é uma variável oculta então
7      $fatores \leftarrow SOMAR(var|fatores)$ 
8   fim
9 fim
10 retorna NORMALIZAR(PRODUTO-PONTUAL( $fatores$ ))

```

Esse algoritmo realiza a seguinte verificação: se uma variável não é ancestral de nenhuma variável de consulta ou evidência, essa torna-se irrelevante para o processo. Isso faz com que essa variável possa ser eliminada dos cálculos de inferência (RUSSELL; NORVIG, 2002).

5 PROPOSTA

Essa tese apresenta o mapeamento de um conjunto de ações que o robô é capaz de executar durante uma aproximação física a um indivíduo, considerando algumas normas sociais. Como observado ao longo dos trabalhos da literatura apresentados até agora (vide seção 3), o comportamento do indivíduo possui dependência da origem ou cultura dele. Assim, algumas reações apresentadas por uma pessoa são diretamente influenciadas pelo seu local de nascimento, pelos locais onde viveu e, conseqüentemente, pela sua experiência de vida. Contudo, fatores como a experiência de vida e cultura são difíceis de avaliar apenas através da observação. Para informações mais precisas sobre a experiência de vida de uma pessoa, é necessário que seja realizado um dialogo ou entrevista para perguntar os locais por onde essa pessoa viveu desde o nascimento. Sendo assim, os trabalhos que envolvem a aproximação física do robô em relação a pessoas, tem o foco maior no comportamento e controle do robô. Em geral, apenas observam a posição do ser humano em relação ao robô, para desviar a uma sequência segura e de maneira natural ou fazem com que o robô parem de frente ao ser humano, em um contato face a face.

Dessa forma, essa tese estabelece uma sequência de passos com o intuito de identificar quais são as ações que o robô pode realizar para que seu comportamento, ao se aproximar de uma pessoa, não provoque nenhum desconforto ao indivíduo que ele se aproxima, sempre considerando as reações do indivíduo. A aproximação física é considerado como o primeiro passo para que exista uma interação entre duas pessoas. Com o comportamento adequado do robô durante a aproximação, é possível garantir que uma pessoa fique confortável com a presença física do robô em sua volta. O nível de conforto pode ser medido pela aceitação do robô próximo ao indivíduo por um determinado ciclo de tempo. Essa aceitação, pode determinar o início de uma interação por um período de tempo maior, porém não será abordado, nessa tese, interações de longa duração.

O primeiro passo estabelecido é definir as variáveis que possam contribuir com a análise do comportamento do ser humano e compreensão de sua experiência de vida e conforto na interação. Logo depois, é determinado a coleta de algumas variáveis de maneira que não exista, em um primeiro momento, a preocupação do comportamento do robô. Na sequência serão analisadas as variáveis coletadas de maneira que, o diagnóstico sobre desconforto ou não da pessoa durante a aproximação do robô, seja de possível compreensão. Essas variáveis serão, posteriormente, organizadas e apresentadas em um formato de rede bayesiana. Essa estrutura permitirá que o robô possa inferir o comportamento que apresenta conforto ao ser humano em sua aproximação. No final, é possível realizar o perfil das pessoas que interagiram com o robô e identificar qual o comportamento é mais comum para cada perfil extraído. Esses perfis, deverão auxiliar projetos futuros de construção de robôs de serviço e sociais.

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. Contudo, antes de discutir em de-

talhes a metodologia, o robô que será utilizado para o desenvolvimento do estudo proposto é apresentado.

5.1 O ROBÔ

O robô utilizado no desenvolvimento dessa tese é o PeopleBot ¹ fabricado pela ActivMedia Robotics. Ele é um robô móvel com direção diferencial, ou seja, possui duas rodas motorizadas e uma roda castor que auxilia em seu equilíbrio. O projeto do PeopleBot tem foco em pesquisas e serviços que envolvem interação humano-robô. Com esse objetivo, ele foi desenvolvido com uma altura de 112 cm (centímetros). Além disso, o PeopleBot também possui uma garra pequena que tem sua movimentação apenas na vertical. A figura 3 apresenta o robô PeopleBot.

Figura 3 – Robô ActivMedia Robotics PeopleBot.

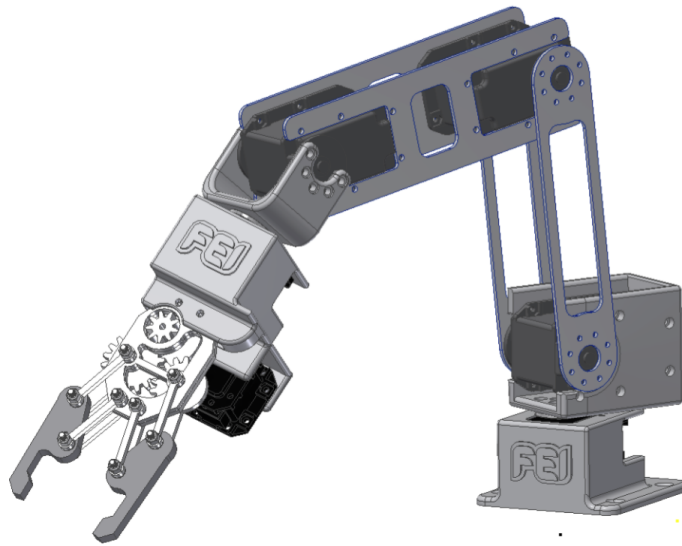


Fonte: Autor.

Como a garra do PeopleBot é curta e não permite muita destreza na manipulação e também poucos graus de liberdade, foi adicionado um novo manipulador. O projeto do manipulador foi desenvolvido com o intuito de auxiliar tarefas com manipulação de objetos e gesticulação durante interações com pessoas. Além disso, o projeto atende pesquisas com foco em prestação de serviços domésticos e cuidados pessoais. O projeto de construção do manipulador é apresentado através da figura 4.

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

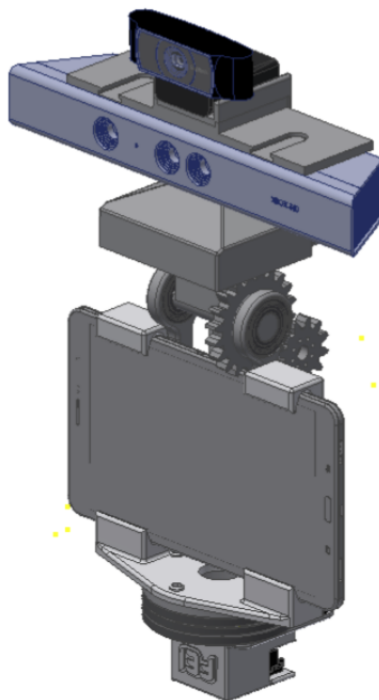
Figura 4 – Projeto do Novo Manipulador do PeopleBot.



Fonte: Autor.

O novo manipulador foi construído de maneira que os movimentos sejam próximos com o braço humano. Além do manipulador, também foi acoplado um *tablet* para que seja possível atribuir faces ao robôs e deixar a interação mais amigável, como apresentado na figura 5.

Figura 5 – Projeto da Cabeça para o PeopleBot.



Fonte: Autor.

O projeto da cabeça foi preparado para acomodar alguns sensores como o Microsoft® Kinect®, o ASUS® Xtion® e webcams, para tarefas que envolvam nuvem de pontos de profundidade e visão computacional. Sensores como lasers e microfones também foram instalados para melhorar a captura de informações sobre o ambiente e a pessoa. Algumas dessas informações são apresentadas na seção 5.2.

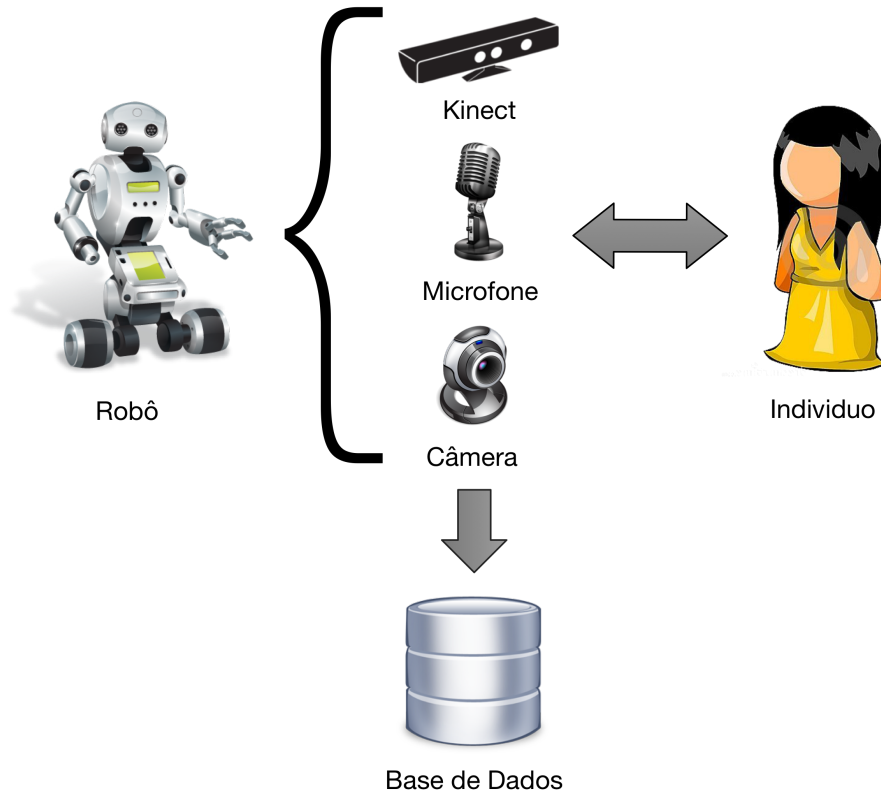
5.2 EXTRAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS

Como apresentado no capítulo 3, 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 significativo é a fixação entre olhares, este pode auxiliar o processo de determinar o início e o fim de uma interação, além dos principais indivíduos na interação. Além disso, pode-se empregar o reconhecimento de expressões faciais para auxílio na análise do quanto a situação é confortável para o indivíduo, ou o quanto ele aprecia a interação. Assim, pode existir uma avaliação em tempo real das reações deste indivíduo 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, ou através do uso de equipamento de eletroencefalografia (EEG), porém este é um método mais invasivo já que exige a adição de um equipamento na pessoa que interage com o robô.

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 comportamentais obtidos através das variáveis, 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 da pessoa 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, sendo possível determinar a orientação da cabeça e torso do indivíduo, além de também a direção do olhar deste para com o robô. A voz do indivíduo para análise da emoção na interação é obtida através de um microfone direcional ou um arranjo de microfones, que amplifica a capacidade de percepção do robô em relação ao ambiente e a pessoa que interage com ele. A figura 6 apresenta a ilustração do processo de extração das características do indivíduo.

No processo apresentado pela figura 6, o robô utiliza os sensores para identificar o indivíduo e iniciar a aproximação dele. Durante a aproximação, o robô utiliza um componente de *log* que armazena todos os valores das variáveis que são utilizadas para determinar, posteriormente, o comportamento do robô (ação) e do indivíduo (reação) em um banco de dados. As

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



Fonte: Autor.

variáveis são apresentadas em detalhes nas seções 5.2.1 e 5.2.2. Com as informações armazenadas é iniciado o processo de análise através de métodos estatísticos, que auxiliam a determinar as variáveis que mais apresentam correlação dentro do problema estudado. É possível, ainda, extrair informações sobre perfis comportamentais das pessoas e identificar os perfis comportamentais obtidos na interação, para que sejam utilizados em projetos futuros de robótica social, de serviço e assistiva. Esse tipo de informação também é útil para identificar a relação de comportamento entre robôs e humanos. Deve-se lembrar que as informações sobre o comportamento são direcionadas por um cenário de interação, como discutido por Jung (1991) em seu trabalho, então um mesmo indivíduo pode apresentar comportamento diferente em cenários de atuação diferentes.

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 e pós 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 obtidas, de forma separada, através da interação entre o ser humano e o robô através dos cenários de interação.

Na seção 5.2.1 são detalhados os conjuntos de variáveis etnográficas e comportamentais com uma breve explicação dos objetivos esperados de cada uma das variáveis coletadas. A seção 5.2.2 detalha as variáveis que serão consideradas para o perfil do robô, apresentando também uma explicação sobre os objetivos de cada uma das variáveis. Essas seções são consideradas como um mapa de variáveis importante para estudos comportamentais em interação humano-robô social. Pode-se inserir mais ou remover algumas variáveis durante a aplicação na construção de robôs autônomos sociais. A seção 5.3 apresentará melhor a seleção realizada por esta tese e como é aplicado no mecanismo de inferência comportamental.

5.2.1 Selecionando Variáveis do Indivíduo

Essa seção apresenta os conjuntos de variáveis que são consideradas como a base de informações para desenvolvimento de estudos em interação humano-robô social. Dois conjuntos são apresentados, o conjunto de variáveis etnográficas, seguido pelo conjunto de variáveis comportamentais que é o principal foco deste trabalho.

5.2.1.1 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, além da relevância cultural para estabelecer uma aproximação e posteriormente uma interação social. 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 3.2, onde a questão cultural do indivíduo é abordada, são discutidos que influência a cultura provê 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, esta tese acredita que a questão cultural na vida de uma pessoa é mais abrangente. Ela está relacionada a experiência adquirida ao longo de sua vivência social, como por exemplo, países e cidades que o indivíduo visitou e viveu, o meio ao qual ele está inserido, sua profissão, entre outras informações. Dessa forma, o conjunto de variáveis apresentado na lista acima tem como objetivo mapear de forma abstrata a experiência social do indivíduo, com o intuito de verificar se o comportamento é menos dependente da origem do indivíduo e mais dependente de sua experiência prévia de vida.

As informações apresentadas nessa seção serão adquiridas através de questionários pré interação. Em trabalhos futuros poderão ser aplicados estudos para identificar essas informações de maneira interativa através do próprio robô.

5.2.1.2 *Conjunto de Variáveis Comportamentais*

Variáveis comportamentais tem como principal objetivo identificar o comportamento do indivíduo dentro do cenário exigido por uma determinada tarefa. Nessa tese 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 e de microexpressões. 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 obtidas através da literatura e uma breve explicação 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.

As variáveis apresentadas acima podem auxiliar na descoberta do interesse em relação a interação. Algumas delas, como as que envolve o olhar, podem necessitar de equipamentos mais específicos para obter uma melhor acurácia na captura. Outras variáveis necessitam de muitas técnicas e estudos direcionados para trazer a interação à um nível mais natural, como o caso da voz. Dessa forma, escolher quais variáveis trabalhar tem influência não só sobre o estudo realizado, como também nos equipamentos embarcados no robô. Tais equipamentos, podem influenciar em sua aparência e conseqüentemente na interação. Essas variáveis que influenciam sobre o robôs são apresentadas na seção 5.2.2 a seguir.

5.2.2 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 menos natural ao ser humano. Dessa forma, definiu-se um conjunto de variáveis que pudessem caracterizar da melhor maneira fatores do robô, referente a sua aparência, que influenciam na interação social. 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. Como exemplo, pode-se citar o Big Dog ², da Darpa Robotics, que é movido através de um motor diesel e seus atuadores pneumáticos e hidráulicos apresentam um alto grau de ruído.

Além das variáveis que definem as características, é necessário também o mapeamento das ações que o robô irá executar para que exista uma análise das informações 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 pode ser feita entre brusca e suave; ou em relação a sua amplitude, como longo e curto.
- 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) **Volume de Voz:** Ao emitir um som, o robô deve saber qual o volume adequada considerando a interação, ambiente e distância do segundo agente. Uma classificação simples pode ser utilizada, como por exemplo, alto e baixo.
- e) **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 5.2.1.2, 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 5.1.

²http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html

As variáveis comportamentais do robô são definidas com o objetivo de executar uma tarefa de abordagem para estabelecer uma interação, ou seja, uma aproximação inicial do ser humano. Caso seja necessário deve-se adicionar novas variáveis a esse conjunto e essa adição não afetará ao método apresentado como uma solução para este problema. O conhecimento prévio da pessoa, um reencontro, não será considerado nessa tese, deixando assim como trabalhos futuros.

5.3 REDE BAYESIANA PARA AUXILIAR NA APROXIMAÇÃO DO ROBÔ

Analizando os sensores disponíveis no robô utilizado para implementação e execução dos testes dessa tese (vide seção 5.1) e as variáveis apresentadas nas seções 5.2.1.2 e 5.2.2, optou-se por utilizar variáveis mínimas e com o menor número de sensores, para auxiliar no diagnóstico e tomada de decisão do robô. A quantidade de menor número de sensores é justificada devido a facilidade de implementar em qualquer tipo de robô com o menor custo. As variáveis foram segmentadas para que tomada de decisão feita pelo robô fosse automática, sem necessidade de controlá-lo de qualquer maneira. Apesar dessa segmentação das variáveis na implementação da rede bayesiana, as mapeadas na seção 5.2 estão documentadas para que sejam incluídas em trabalhos futuros, melhorando assim o processo de análise comportamental do indivíduo, assim como outras aqui não contempladas. As variáveis que serão utilizadas são:

- a) POS: posicionamento do robô dentro da zona de proximidade social da pessoa, apresentada no capítulo 3 através da figura 1;
- b) VEL: velocidade de aproximação do robô em relação a pessoa;
- c) VOL: volume de emissão de som, realizado pelo robô;
- d) GES: amplitude do gesto do robô em relação a pessoa;
- e) FACE: expressão facial apresentada pelo robô durante a aproximação;
- f) AFASTOU: se a pessoa se afastou do robô após sua tentativa de aproximação;
- g) NEG_FACE: se a pessoa apresentou uma expressão facial negativa durante a tentativa de aproximação do robô;
- h) NEG_CORP: se a pessoa apresentou uma expressão corporal negativa durante a tentativa de aproximação do robô;

Para cada uma das variáveis aleatórias é necessário o mapeamento dos domínios. Os domínios são importantes para definir quais os possíveis valores que cada variável pode assumir, além de limitar o escopo do trabalho de maneira a atingir o seu objetivo. O domínio de cada variável aleatória apresentada é:

- a) POS = {publica, social, pessoal, íntima}

- b) VEL = {rápido, devagar}
- c) VOL = {alto, baixo, mudo}
- d) GES = {longo, curto, ausente}
- e) FACE = {feliz, neutra, nervoso}
- f) AFASTOU = {verdadeiro, falso}
- g) NEG_FACE = {verdadeiro, falso}
- h) NEG_CORP = {verdadeiro, falso}

As variáveis que representam a reação do usuário ({AFASTOU, NEG_FACE, NEG_CORP}) possuem o domínio binário, pois o intuito é apenas saber se algum fator gerou uma reação negativa do ser humano durante a interação. As demais várias necessitam de um domínio maior, pois a intenção é investigar quais os fatores que levaram a reação negativa do ser humano.

Com a definição das variáveis aleatórias e seus respectivos domínios, foi possível estabelecer um grafo acíclico orientado, uma rede bayesiana, partindo do princípio de que POS é o nó pai que tem influência sobre todos os outros. Ele foi escolhido como nó pai, pois é a causa principal dos demais efeitos da rede, que possui mais dois níveis. Em um nível intermediário de nós temos as variáveis {VEL, VOL, GES, FACE}, que são variáveis dependentes exclusivamente das ações do robô e possuem uma independência condicional dado o pai POS. Por fim, as três variáveis que representam as reações do ser humano, que são independentes condicionais dado os pais {POS, VEL, VOL, GES, FACE}. As variáveis {AFASTOU, NEG_FACE, NEG_CORP} também são chamadas de nós de efeito, que querem ser observados durante o processo de interação humano robô. A figura 7 apresenta a rede bayesiana formada com base na hierarquia definida.

A partir de agora é preciso formalizar a rede bayesiana em formato de probabilidades, para que seja possível compreender cada um dos cálculos de inferência e diagnóstico realizados pelo mecanismo de tomada de decisão do robô durante a tarefa de aproximação do indivíduo. As equações 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 representam as probabilidades da rede bayesiana para cada uma das variáveis aleatórias mapeadas.

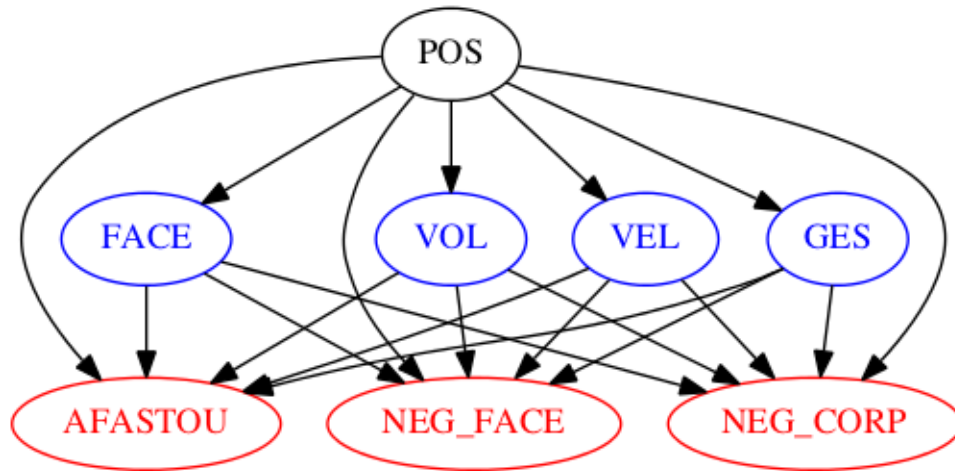
$$P(POS) \quad (10)$$

$$P(VEL|POS) \quad (11)$$

$$P(VOL|POS) \quad (12)$$

$$P(GES|POS) \quad (13)$$

Figura 7 – Rede bayesiana construída para auxiliar no diagnóstico e tomada de decisão da aproximação ao indivíduo.



Fonte: Autor.

$$P(FACE|POS) \quad (14)$$

$$P(AFASTOU|POS, VEL, VOL, GES, FACE) \quad (15)$$

$$P(NEG_FACE|POS, VEL, VOL, GES, FACE) \quad (16)$$

$$P(NEG_CORP|POS, VEL, VOL, GES, FACE) \quad (17)$$

É importante ressaltar que o efeito a ser medido é a reação do ser humano, pois é o principal interessado em toda interação com o robô, já que é um robô com tarefas em ambientes sociais, domésticos e assistivos. A grande preocupação em manter o foco no ser humano é por que os trabalhos apresentados no capítulo 3 tem o foco apenas na execução da tarefa pelo robô e em seu comportamento. As reações dos seres humanos são colocadas em segundo plano, nesses trabalhos.

6 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.

6.1 CENÁRIO 1 - APROXIMAÇÃO DO ROBÔ

O início de toda interação é a partir da aproximação entre os agentes envolvidos ou interessados. O robô envolvido em um ambiente social, deve aprender como se aproximar das pessoas em diferentes situações. A aproximação deve ser controlada fazendo com que os demais agentes envolvidos fiquem confortáveis, sem expressões ou reações de medo ou apreensão. Uma vez aprendido o controle de aproximação, o robô deve ser capaz de generalizar o modelo para qualquer outro agente. Além do controle, é importante que o robô seja capaz de aprender os agentes conhecidos em interações anteriores para que fique mais natural o tratamento, posteriormente.

6.1.1 Objetivo

O robô deve se comportar durante a aproximação de qualquer agente fazendo com que este confortável independente da aparência que o robô tenha e de maneira natural.

6.1.2 Foco

O foco do cenário é o aprendizado e generalização de uma aproximação do robô à uma pessoa ou um grupo de pessoas, nas posições, sentada ou em pé.

6.1.3 Configuração para o Teste

Para esse teste deverão ser considerados algumas possibilidades para o robô e também pessoas. Essas configurações podem ser mescladas entre si, atendendo qualquer possível combinação.

6.1.3.1 Pessoa

- a) Única pessoa parada em pé a 4 metros a frente do robô. A pessoa não precisa necessariamente ficar olhando diretamente para o robô.

- b) Única pessoa sentada a 4 metros a frente do robô. A pessoa não precisa necessariamente ficar olhando diretamente para o robô. Ela poderá ler um livro ou revista, nessa configuração.
- c) Grupo de pessoas simulando uma conversa a 4 metros de distância a frente do robô. Neste caso todas as pessoas estarão em pé.
- d) Grupo de pessoas simulando uma sala de estar a 4 metros de distância a frente do robô. Neste caso poderá existir pessoas sentadas e em pé (paradas ou caminhando pelo ambiente).

O objetivo das configurações do grupo de pessoas acima é fazer com que o robô aprenda a se aproximar das diversas formações possíveis, permitindo assim uma melhor generalização do modelo aprendido.

6.1.3.2 Robô

- a) O robô possui face que interage com a pessoa de acordo com suas próprias ações. Por exemplo, quando falar olá o robô apresenta uma face sorrindo. (Aprender quais as melhores expressões faciais para deixar o indivíduo confortável na aproximação do robô de acordo com as zonas de proximidades)
- b) O robô não possui face. (Validar se é possível um robô se aproximar de uma pessoa sem nenhum sinal social e deixar a pessoa confortável)
- c) O robô controla os gestos do manipulador ao se aproximar da pessoa. Neste caso ele pode ou não possuir uma face. (Aprender quais os melhores gestos para deixar o indivíduo confortável na aproximação do robô de acordo com as zonas de proximidades)
- d) O robô não controla os gestos do manipulador ao se aproximar da pessoa. Neste caso ele pode ou não possuir uma face. (Aprender quais os melhores gestos para deixar o indivíduo confortável na aproximação do robô de acordo com as zonas de proximidades)
- e) O robô não realiza gestos. Neste caso o robô pode ou não possuir o manipulador. (Validar se é possível um robô se aproximar de uma pessoa sem apresentar gestos com seu manipulador, ou sem ele, e deixar a pessoa confortável)

Para todos os casos de robôs, ele poderá apresentar ou não sinais de voz para interagir com a pessoa durante a aproximação.

6.1.4 Tarefa

Esse teste poderá ocorrer em um ambiente não controlado, onde existam pessoas não participantes, transitando pelo cenário, devido ao espaço necessário para execução do teste.

- a) **Início:** O robô é posicionado no cenário de maneira aleatória e aguarda o comando para início do teste.
- b) **Identificando a pessoa ou o grupo:** O robô deve rotacionar até encontrar o marcador feito com um QRCODE que identifica a pessoa ou o grupo que ele deve interagir.
- c) **Aproximando do objetivo:** Ao identificar o grupo que ele deve se aproximar, o robô inicia a aproximação. Antes do início do movimento em direção ao grupo, de maneira aleatória, ele poderá ou não emitir sons, apresentar faces e/ou executar gestos com seu manipulador.
- d) **Reações das pessoas:** Todas as reações das pessoas, durante a aproximação do robô, deverão ser armazenadas com o intuito de aprender se as ações executadas tornaram a aproximação mais confortável ao grupo.
- e) **Fim:** Será considerado o fim da tarefa, quando o robô permanecer em interação dentro do espaço pessoal para íntimo, por 15 segundos ou em um tempo máximo de 5 minutos total da tarefa.

6.1.5 Arquivo de Log

O robô deve gravar imagens e informações sobre todos os eventos que ocorrem durante o teste com o intuito de validar os resultados obtidos.

Além do log interno ao robô, imagens de vídeo poderão ser capturadas com objetivo de confirmar os resultados obtidos pelo robô durante a interação. Os vídeos capturados durante o teste servirão também como meio de ajustes ao sistema de aproximação entre humano e robô.

6.2 CENÁRIO 2 - VALIDAÇÃO DO APRENDIZADO DO ROBÔ

Cenário que fará a validação do aprendizado do robô.

6.3 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.

7 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 5.2 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.

8 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.

REFERÊNCIAS

- ALBO-CANALS, J. et al. Comparing two LEGO Robotics-based interventions for social skills training with children with ASD. Em: RO-MAN, 2013 IEEE. [sinelocosinenomine], ago. de 2013. pp. 638–643.
- AMARAL, Vagner do; GIRALDI, Gilson A; THOMAZ, Carlos E. Segmentação Espacial Nao Uniforme Aplicada ao Reconhecimento de Gênero e Expressões Faciais, 2014.
- ARGYLE, Michael. **Bodily communication**. [sineloco]: Routledge, 1988.
- ARGYLE, Michael; DEAN, Janet. Eye-contact, distance and affiliation. **Sociometry**, JSTOR, pp. 289–304, 1965.
- BEEK, Loy van et al. **RoboCup@Home 2015: Rule and Regulations**. [sinelocosinenomine], 2015. http://www.robocupathome.org/rules/2015_rulebook.pdf.
- BROOKS, Andrew G.; ARKIN, Ronald C. Behavioral Overlays for Non-verbal Communication Expression on a Humanoid Robot. **Auton. Robots**, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, vol. 22, n.º 1, pp. 55–74, jan. de 2007. URL: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10514-006-9005-8>>.
- BROOKS, R.A. A robust layered control system for a mobile robot. **Robotics and Automation, IEEE Journal of**, vol. 2, n.º 1, pp. 14–23, mar. de 1986.
- BROOKS, Rodney A. Intelligence Without Representation. **Artif. Intell.**, Elsevier Science Publishers Ltd., Essex, UK, vol. 47, n.º 1-3, pp. 139–159, fev. de 1991. URL: <[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.M. Applying Behavioral Strategies for Student Engagement Using a Robotic Educational Agent. Em: SYSTEMS, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on. [sinelocosinenomine], out. de 2013. pp. 4360–4365.
- BURGOON, Judee K; STERN, Lesa A; DILLMAN, Leesa. **Interpersonal adaptation: Dyadic interaction patterns**. [sineloco]: Cambridge University Press, 2007.
- CHOI, Jung Ju; KIM, Yunkyung; KWAK, S.S. The autonomy levels and the human intervention levels of robots: The impact of robot types in human-robot interaction. Em: ROBOT and Human Interactive Communication, 2014 RO-MAN: The 23rd IEEE International Symposium on. [sinelocosinenomine], ago. de 2014. pp. 1069–1074.
- DOBRA, A. General classification of robots. Size criteria. Em: ROBOTICS in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), 2014 23rd International Conference on. [sinelocosinenomine], set. de 2014. pp. 1–6.
- ERESHA, Ghadeer et al. Investigating the influence of culture on proxemic behaviors for humanoid robots. Em: IEEE. RO-MAN, 2013 IEEE. [sinelocosinenomine], 2013. pp. 430–435.

FEIL-SEIFER, David; MATARIĆ, Maja. Using Proxemics to Evaluate Human-robot Interaction. Em: PROCEEDINGS of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction. Osaka, Japan: IEEE Press, 2010. (HRI '10), pp. 143–144. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1734454.1734514>.

GIOVANNANGELI, C.; GAUSSIER, P. Human-Robot Interactions as a Cognitive Catalyst for the Learning of Behavioral Attractors. Em: ROBOT and Human interactive Communication, 2007. RO-MAN 2007. The 16th IEEE International Symposium on. [sinelocosinenomine], ago. de 2007. pp. 1028–1033.

GOODRICH, Michael A.; SCHULTZ, Alan C. Human-robot Interaction: A Survey. **Found. Trends Hum.-Comput. Interact.**, Now Publishers Inc., Hanover, MA, USA, vol. 1, n.º 3, pp. 203–275, jan. de 2007. URL: <http://dx.doi.org/10.1561/11000000005>.

HALL, Edward Twitchell. **The Hidden Dimension**. [sineloco]: Anchor Books New York, 1969.

HEENAN, Brandon et al. Designing Social Greetings in Human Robot Interaction. Em: PROCEEDINGS of the 2014 Conference on Designing Interactive Systems. Vancouver, BC, Canada: ACM, 2014. (DIS '14), pp. 855–864. URL: <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. Em: ROBOT and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on. [sinelocosinenomine], set. de 2009. pp. 64–71.

HEMMERT, Fabian et al. Animate Mobiles: Proxemically Reactive Posture Actuation As a Means of Relational Interaction with Mobile Phones. Em: PROCEEDINGS of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction. Barcelona, Spain: ACM, 2013. (TEI '13), pp. 267–270. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2460625.2460669>.

HENKEL, Zachary; MURPHY, Robin R.; BETHEL, Cindy L. Towards a Computational Method of Scaling a Robot's Behavior via Proxemics. Em: PROCEEDINGS of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. Boston, Massachusetts, USA: ACM, 2012. (HRI '12), pp. 145–146. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2157689.2157727>.

HENKEL, Zachary; MURPHY, Robin et al. A Proxemic-based HRI Testbed. Em: PROCEEDINGS of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems. College Park, Maryland: ACM, 2012. (PerMIS '12), pp. 75–81. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2393091.2393108>.

HENKEL, Z. et al. Evaluation of Proxemic Scaling Functions for Social Robotics. **Human-Machine Systems, IEEE Transactions on**, vol. 44, n.º 3, pp. 374–385, jun. de 2014.

- HIATT, Laura M.; HARRISON, Anthony M.; TRAFTON, J. Gregory. Accommodating Human Variability in Human-robot Teams Through Theory of Mind. Em: PROCEEDINGS of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume Volume Three. Barcelona, Catalonia, Spain: AAAI Press, 2011. (IJCAI'11), pp. 2066–2071. URL: <<http://dx.doi.org/10.5591/978-1-57735-516-8/IJCAI11-345>>.
- JIANG, Bihan et al. A Dynamic Appearance Descriptor Approach to Facial Actions Temporal Modeling. **Cybernetics, IEEE Transactions on**, vol. 44, n.º 2, pp. 161–174, fev. de 2014.
- JOOSSE, Michiel; SARDAR, Aziez; EVERS, Vanessa. BEHAVE: A Set of Measures to Assess Users' Attitudinal and Non-verbal Behavioral Responses to a Robot's Social Behaviors. Em: **Social Robotics: Third International Conference, ICSR 2011, Amsterdam, The Netherlands, November 24-25, 2011. Proceedings**. Ed. por Bilge Mutlu. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. pp. 84–94. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25504-5_9>.
- JUNG, C.G. The archetypes and the collective unconscious. Routledge, 1991.
- KASTANIS, Iason; SLATER, Mel. Reinforcement Learning Utilizes Proxemics: An Avatar Learns to Manipulate the Position of People in Immersive Virtual Reality. **ACM Trans. Appl. Percept.**, ACM, New York, NY, USA, vol. 9, n.º 1, 3:1–3:15, mar. de 2012. URL: <<http://doi.acm.org/10.1145/2134203.2134206>>.
- LAMBERT, David. **Body Language One Hundred and One**. [sineloco]: Skyhorse Publishing Inc., 2008.
- LOOI, Qin En; SEE, Swee Lan. Applying Politeness Maxims in Social Robotics Polite Dialogue. Em: PROCEEDINGS of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. Boston, Massachusetts, USA: ACM, 2012. (HRI '12), pp. 189–190. URL: <<http://doi.acm.org/10.1145/2157689.2157749>>.
- LÓPEZ, Beatriz. **Case-based reasoning: a concise introduction**. [sineloco]: Morgan & Claypool Publishers, 2013. vol. 7, pp. 1–103.
- MEAD, Ross; ATRASH, Amin; KASZUBSKI, Edward et al. Building Blocks of Social Intelligence: Enabling Autonomy for Socially Intelligent and Assistive Robots. Em: ASSOCIATION for the Advancement of Artificial Intelligence Fall Symposium on Artificial Intelligence and Human-Robot Interaction, ser. AI-HRI, Arlington, Virginia. [sinelocosinenomine], 2014.
- MEAD, Ross; ATRASH, Amin; MATARIĆ, Maja J. Automated Analysis of Proxemic Behavior: Leveraging Metrics from the Social Sciences. Em: IN Proceedings of the 2011 Robotics: Science and Systems Workshop on Human-Robot Interaction: Perspectives and Contributions. [sinelocosinenomine], 2011.

MEAD, Ross; ATRASH, Amin; MATARIĆ, Maja J. Automated Proxemic Feature Extraction and Behavior Recognition: Applications in Human-Robot Interaction. English. **International Journal of Social Robotics**, Springer Netherlands, vol. 5, n.º 3, pp. 367–378, 2013. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12369-013-0189-8>.

_____. Recognition of Spatial Dynamics for Predicting Social Interaction. Em: PROCEEDINGS of the 6th International Conference on Human-robot Interaction. Lausanne, Switzerland: ACM, 2011. (HRI '11), pp. 201–202. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1957656.1957731>.

_____. Representations of proxemic behavior for human-machine interaction. Em: CITESEER. NORDICHI 2012 Workshop on Proxemics in Human-Computer Interaction. [sinelocosinenomine], 2012.

MEAD, Ross; MATARIĆ, Maja J. A Probabilistic Framework for Autonomous Proxemic Control in Situated and Mobile Human-robot Interaction. Em: PROCEEDINGS of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. Boston, Massachusetts, USA: ACM, 2012. (HRI '12), pp. 193–194. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2157689.2157751>.

_____. Autonomous Control of Human-robot Spacing: A Socially Situated Approach. Em: PROCEEDINGS of the 1st Symposium on Spatial User Interaction. Los Angeles, California, USA: ACM, 2013. (SUI '13), pp. 91–91. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2491367.2491402>.

MEAD, Ross; MATARIĆ, Maja J. Autonomous human-robot proxemics: socially aware navigation based on interaction potential. **Autonomous Robots**, pp. 1–13, 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10514-016-9572-2>.

MEAD, Ross; MATARIĆ, Maja J. 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. Em: HUMANOID Robots, 2007 7th IEEE-RAS International Conference on. [sinelocosinenomine], nov. de 2007. pp. 557–562.

OKITA, Sandra Y.; NG-THOW-HING, Victor; SARVADEVABHATLA, Ravi Kiran. Captain May I?: Proxemics Study Examining Factors That Influence Distance Between Humanoid Robots, Children, and Adults, During Human-robot Interaction. Em: PROCEEDINGS of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. Boston, Massachusetts, USA: ACM, 2012. (HRI '12), pp. 203–204. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2157689.2157756>.

RUSSELL, Stuart J; NORVIG, Peter. Artificial Intelligence: A Modern Approach. {Pearson US Imports & PHIPES}, 2002.

SAMADI, Farshad. HUMAN AGE-GROUP ESTIMATION BASED ON ANFIS USING THE HOG AND LBP FEATURES. Citeseer, 2013.

SHAN, Caifeng. Learning local binary patterns for gender classification on real-world face images. **Pattern Recognition Letters**, vol. 33, n.º 4, pp. 431–437, 2012. Intelligent Multimedia Interactivity. URL: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167865511001607>>.

SHERIDAN, Thomas B; VERPLANK, William L. **Human and computer control of undersea teleoperators**. [sineloco], 1978.

SRINIVASAN, V.; HENKEL, Z.; MURPHY, R. Social head gaze and proxemics scaling for an affective robot used in victim management. Em: SAFETY, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2012 IEEE International Symposium on. [sinelocosinenomine], nov. de 2012. pp. 1–2.

TORTA, Elena et al. Design of Robust Robotic Proxemic Behaviour. Em: MUTLU, Bilge et al. (Eds.). **Social Robotics**. [sineloco]: Springer Berlin Heidelberg, 2011. vol. 7072. (Lecture Notes in Computer Science). pp. 21–30. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25504-5_3>.

VÁZQUEZ, Marynel et al. Spatial and Other Social Engagement Cues in a Child-robot Interaction: Effects of a Sidekick. Em: PROCEEDINGS of the 2014 ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction. Bielefeld, Germany: ACM, 2014. (HRI '14), pp. 391–398. URL: <<http://doi.acm.org/10.1145/2559636.2559684>>.

WALTERS, Michael L et al. An empirical framework for human-robot proxemics. **Procs of New Frontiers in Human-Robot Interaction**, 2009.

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**. 2010. Tese de doutoramento.

YANG, Zhiguang; AI, Haizhou. Demographic Classification with Local Binary Patterns. Em: LEE, Seong-Whan; LI, StanZ. (Eds.). **Advances in Biometrics**. [sineloco]: Springer Berlin Heidelberg, 2007. vol. 4642. (Lecture Notes in Computer Science). pp. 464–473. URL: <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. Em: PATTERN Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on. [sinelocosinenomine], nov. de 2012. pp. 1257–1260.