

Candidato: José Pedro Ribeiro Belo

Ambiente de Validação de Sistemas Cognitivos para aplicação em Robótica Social

Projeto de pesquisa apresentado à FAPESP
para solicitação de bolsa de Mestrado.

Universidade de São Paulo – USP
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC
Laboratório de Aprendizado de Robôs –LAR

Orientador: Profa. Dra. Roseli Aparecida Francelin Romero

São Carlos - SP
7 de dezembro de 2015, v-1.0

Resumo

A consolidação da robótica social possui como requisito necessário a evolução das pesquisas em modelagem cognitiva. Relatório da Robotics V.O. (ROBOTICS, 2013) preconiza a obtenção de resultados promissores em 15 anos, desde que, condições apropriadas sejam disponibilizadas para a área. Uma das condições envolve a utilização de ambientes de referência para desenvolver, avaliar e comparar o desempenho de sistemas cognitivos. O mesmo relatório propõe a criação de um ambiente denominado *Robot City* com atores, cenários (casas, ruas, cidade) e auditores. Entretanto, uma instalação desse porte apresenta um custo elevado para a maioria dos laboratórios de pesquisa. Como caminho alternativo um trabalho de doutorado, sob a mesma orientação desta proposta, define um ambiente de referência para avaliação de modelos cognitivos. Esse ambiente, denominado *Cognitive Model Development Environment - CMDE*, é composto por dois nós de processamento, no primeiro temos o *Robot City Simulator*, um simulador de sistemas cognitivos. No segundo temos o *Cognitive System* que representa o sistema a ser validado no ambiente. Esta proposta foca no desenvolvimento do simulador associado ao nó *Robot City Simulator*. O simulador proposto permite a seleção de cenários (sala e cozinha) onde fases de evolução cognitiva devem ser atendidas pelo sistema sob avaliação.

Palavras-chave: Robótica Social, Ciência Cognitiva, Ontologia Robótica.

Sumário

1	Introdução	7
2	Objetivo	9
2.1	Cognitive Model Development Environment - CMDE	10
2.2	Simuladores Classicos	11
2.2.1	Stage	11
2.2.2	Gazebo	11
2.2.3	DARPA Robotics Challenge Simulator (DRCSim)	12
2.3	Simulador para sistemas cognitivos	13
3	Plano de Trabalho	17
3.1	Atividades e Cronograma	17
4	Análise dos Resultados	21
	Referências	23

1 Introdução

Os sistemas robóticos, inicialmente restritos a ambientes estruturados e atividades repetitivas em ambiente fabril evoluem rapidamente para atuar em ambientes não estruturados em parceria direta com seres humanos. A evolução natural da Robótica é uma maior aproximação com os seres humanos, tanto na robótica pessoal quanto na industrial. A robótica pessoal pode fornecer robôs para ajudar os seres humanos fisicamente ou socialmente permitindo uma vida confortável e autônoma. Por outro lado, a indústria continuamente integrará humanos e robôs em suas linhas de produção direcionando para um futuro onde ambos irão compartilhar espaço para realizar tarefas do processo fabril em conjunto.

Este cenário de robôs onipresentes demanda o equacionamento de diversos desafios. Parte dos desafios a serem abordados se encontram em um campo crescente da robótica conhecido como Interação Humano Robô (em inglês *Human Robot Interaction-HRI*), em particular na subárea definida por [Fong, Nourbakhsh e Dautenhahn \(2003\)](#) como *Socially Interactive Robots - SIR* ou "Robótica Social", termo utilizado neste projeto.

A partir do momento que robôs passam a interagir diretamente com seres humanos é desejável que a comunicação seja realizada no mesmo nível cognitivo. Para alcançar esse objetivo é necessário lançar mão de uma área da ciência incomum para os roboticistas: a ciência cognitiva. A ciência cognitiva objetiva a pesquisa dos processos associados ao conhecimento realizados pela mente humana. A percepção do ambiente representa o ponto inicial do aprendizado, a partir dessa percepção modelos cognitivos são construídos e refinados a medida que o ser humano amadurece e adquire conhecimentos adicionais. Dentre os tópicos de interesse da área, temos: percepção visual, atenção e conscientização, memória, representação mental, linguagem, emoção, raciocínio, criatividade, cultura e sociedade ([REISBERG, 2013](#)).

A ciência cognitiva possui grupos apaixonados de pesquisadores, envolvidos diretamente na construção de modelos que representem a complexa dinâmica presente

no relacionamento e atuação humana. Vale ressaltar que essa não é uma tarefa restrita a roboticistas, pelo contrario, psicólogos, linguistas e filósofos também participam da empreitada.

Um dos fatores que dificultam as pesquisas em ciência cognitiva aplicada a robótica social é a existência de múltiplas plataformas de robôs, muitas das quais proprietárias, fato que minimiza a troca de conhecimentos e habilidades entre os pesquisadores. Além da questão da diversidade de robôs, temos também diversos arcabouços de programação com arquiteturas e interfaces distintas. Esses fatores acabam subtraindo recursos e postergando a obtenção de resultados. A robótica social em geral, e sistemas cognitivos em particular, ainda sofrem de um sério problema que atrasa sua evolução: a ausência de *benchmarks* e simuladores apropriados para validar os modelos propostos. Esse aspecto foi ressaltado no relatório *Roadmap for U.S. Robotics: From Internet to Robotics* (ROBOTICS, 2013):

"... foram sugeridos ambientes de referência completos para desenvolver, avaliar e comparar o desempenho com relação a uma aplicação ou implementação particular. Esses ambientes podem variar em tamanho e complexidade de um espaço de trabalho simples (uma mesa de escritório ou de uma bancada de cozinha) para uma sala, uma casa, ou um quarteirão inteiro. Neste contexto, a noção de uma cidade de robôs (*Robot City*) foi mencionada: um ambiente urbano comum em que todos os habitantes fazem parte da experiência e ajudam no processo de avaliação, bem como na definição de requisitos adequados para ambientes de aplicação cotidiana."

Esse ambiente, semelhante aos criados pelo *Defense Advanced Research Projects Agency* - DARPA para o "Grand Challenge" (DARPA, 2014) e *The Robotics challenge* (DARPA, 2015), apresenta um custo elevado e inacessível para a maioria dos grupos de pesquisa na área. Uma estratégia alternativa é o uso de simuladores ao invés de cidades emuladas.

Este projeto esta associado ao desenvolvimento de um ambiente para validação de sistemas cognitivos aplicados em robótica social. Esse ambiente possui como componente principal um simulador cognitivo. Distinto dos simuladores robóticos clássicos, o foco é garantir a interação social do robô, ou seja: reação a recepção de comandos, avaliação de emoções, reconhecimento de pessoas, capacidade de tomar decisões e aprendizado.

2 Objetivo

O objetivo geral deste projeto é contribuir na área de robôs socialmente interativos através das seguintes ações:

- acelerar o processo de implementação de sistemas cognitivos em robôs,
- viabilizar a reprodução de experimentos associados a sistemas cognitivos,
- permitir a comparação entre implementações distintas e
- apoiar a instalação de cursos de IHR, com foco em robótica social, pela viabilização de simuladores cognitivos nos experimentos práticos ([BERRY, 2015](#)).

O objetivo específico consiste no desenvolvimento de um simulador que modele as ações necessárias para validar o sistema cognitivo proposto. Atualmente os sistemas cognitivos aplicados na robótica interagem diretamente nos sensores e atuadores presentes no robô. Essa abordagem possui as seguintes desvantagens:

- O especialista em modelo cognitivo é obrigado a se envolver em questões como: movimento, síntese de voz, captura de sons, visão, controle dos graus de liberdade, etc. Essas questões desviam o pesquisador do foco principal, ou seja: capacitar o robô a interagir socialmente através da construção de modelos para as atividades a serem executadas no ambiente alvo.
- A reprodução dos experimentos realizados possui um custo alto devido a complexidade na duplicação do ambiente do laboratório que muitas vezes utiliza um robô proprietário inacessível a outros grupos.
- A comparação entre implementações de sistemas cognitivos distintos também possui alto custo exatamente pela dificuldade em reproduzir os experimentos realizados.

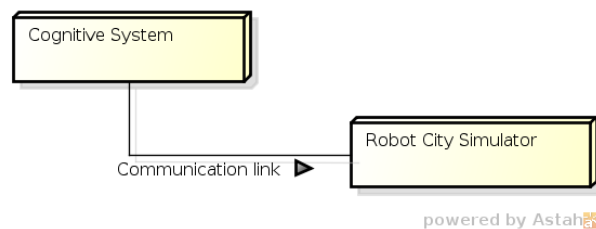
O resultado deste projeto contribui diretamente em tese de doutorado em andamento no ICMC/USP – São Carlos, em particular, no Laboratório de Aprendizado de Robôs

–LAR. Vale ressaltar que o laboratório e a orientação utilizados na tese de doutorado são os mesmos associados a esta proposta. Essa conexão garante uma evolução consistente na medida que integra pesquisadores no desenvolvimento de um ambiente complexo em evolução no laboratório. A próxima seção detalha esse ambiente.

2.1 Cognitive Model Development Environment - CMDE

Para acelerar o processo de validação de sistemas cognitivos este projeto contribui no desenvolvimento do ambiente denominado *Cognitive Model Development Environment - CMDE*. Basicamente o CMDE é composto por dois nós de processamento: *Robot City Simulator* e *Cognitive System* (Figura 1). A troca de mensagens entre os dois nós utiliza um protocolo de alto nível cognitivo. Esse protocolo é definido por uma ontologia aderente a norma IEEE 1872-2015 (IEEE, 2015).

Figura 1 – Cognitive Model Development Environment - CMDE



Fonte: Elaborado pelo autor

Para garantir a disseminação do ambiente três requisitos foram considerados. O primeiro é ser implementado como software livre. O segundo é manter o protocolo entre os nós de processamento aderente a uma ontologia robótica. Finalmente, o terceiro é utilizar mensagens de alto nível semântico eliminando detalhes físicos dos sensores. Este desenvolvimento explora com mais ênfase o nó *Robot City Simulator* buscando alternativas para sua implementação.

Os simuladores robóticos clássicos não validam aspectos cognitivos presentes no sistema robótico, longe de ser uma deficiência, esse requisito não é atendido simplesmente pelo fato dos simuladores tradicionais terem por objetivo serem fidedignos a determinado modelo de robô considerando o comportamento físico de cada sensor e atuador, bem como,

a atualização sincronizada do ambiente de acordo com a evolução da simulação. Apesar de sua importância esses aspectos não são relevantes do ponto de vista de sistemas cognitivos.

A próxima seção apresenta três simuladores robóticos clássicos que não disponibilizam recursos para modelar conteúdo cognitivo. A seção 2.3 apresenta o projeto de um simulador para sistemas cognitivos.

2.2 Simuladores Classicos

2.2.1 Stage

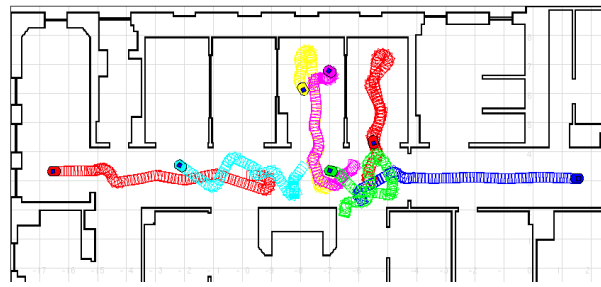
Stage ([PLAYERSTAGE, 2015](#)) é um simulador 2D de baixa fidelidade para uma grande população de robôs. Sua liberação ocorreu em 2001, representando um dos primeiros simuladores robóticos de código aberto juntamente com a ferramenta Player. Player ([PLAYERSTAGE, 2015](#)) fornece uma interface para robôs e sensores em um modelo cliente/servidor. A versatilidade da ferramenta Player permite que programas escritos em qualquer linguagem se comuniquem via rede com múltiplos robôs clientes. O conjunto Player/Stage foi adotado por inúmeros laboratórios totalizando em 2015, 295.257 downloads desde sua liberação no *Source Forge*. Entretanto, seu uso generalizado vem gradativamente diminuindo de um pico máximo de 5165 downloads em nov/2009 para 510 downloads em fev/2015 possivelmente pela liberação de ambientes mais versáteis, como por exemplo ROS ([ROS, 2015](#)).

Stage é normalmente utilizado como um plugin do *Player* fornecendo dispositivos virtuais para simulações. A implementação cliente/servidor do conjunto garante que a troca do mundo virtual para o real ocorra sem alterações severas de código. O simulador oferece uma visão 2D (Figura 2) do ambiente e do robô simulado, sendo possível acompanhar as leituras dos sensores instanciados no robô em tempo real de simulação.

2.2.2 Gazebo

Gazebo ([GAZEBO, 2015](#)) é um simulador 3D de alta fidelidade para uma pequena população de robôs. Inicialmente vinculado a ferramenta *Player*, acabou ganhando auto-

Figura 2 – Stage: Percurso de múltiplos robôs

Fonte: [playerstage](#) (2015)

nomia, sendo hoje utilizado com outras ferramentas. Gazebo é um simulador de código aberto que permite testar rapidamente algoritmos e projetos de robôs utilizando cenários realistas em ambientes internos e externos. Ele fornece aos usuários um mecanismo robusto para simular eventos físicos com representações gráficos de alta qualidade através de uma interface de programação.

2.2.3 DARPA Robotics Challenge Simulator (DRCSim)

O desafio DRC - "DARPA - The Robotics challenge" ([DARPA, 2015](#)), tem por objetivo catalisar o desenvolvimento de tecnologias para operações de contingência em instalações que sofreram danos devido a ocorrência de desastres.

Resumidamente, em junho/2015 equipes de pesquisadores competiram por um prêmio de \$2M de dólares devendo atender a seguinte missão em um ambiente real (Figura 3): entrar, dirigir e sair de um veículo; caminhar em terreno acidentado e entrar por uma porta; subir uma escada e atravessar uma passarela; usar uma ferramenta para abrir passagem através de uma parede; abrir uma válvula; conectar uma mangueira de incêndio.

Para se classificar para a competição final alguns grupos participaram de provas eliminatórias com o uso do simulador DRCSim ([DRCSIM, 2015](#)). O DRCSim (Figura 4) é uma plataforma de código aberto que calcula e exibe comportamentos físicos e sensoriais dos robôs em um espaço virtual 3D. Esse simulador representa uma contratação especial do grupo que desenvolve o simulador Gazebo para simular o ambiente da competição

Figura 3 – HUBO: Passos da sequência completa no DRC



Fonte: [Oh \(2013\)](#)

utilizando o robô ATLAS da Boston Dynamics Robotics ([BOSTONDYNAMICS, 2015](#)).

Figura 4 – Imagem do simulador DRCSim



Fonte: [drcsim \(2015\)](#)

2.3 Simulador para sistemas cognitivos

Quando consideramos sistemas cognitivos, a ausência de simuladores apropriados torna-se evidente. Esta proposta para contornar essa característica contribuindo no desenvolvimento do ambiente CMDE (Figura 1). Nesse ambiente, o nó de processamento *Robot City Simulator* possui os seguintes requisitos:

Protocolo aderente a norma 1872-2015 ([IEEE, 2015](#)): A utilização de um padrão de ontologia cria uma hierarquia de conceitos de alto nível (Robô, Sistema Robótico, etc) que garante a compreensão por outros pesquisadores interessados no ambiente.

Operações de alto nível de cognição: uma sintaxe de ações e respostas de alto nível é utilizada para acompanhar as atividades do robô. exemplos de ações são: falar,

pegar, mover, olhar, soltar, subir, descer, etc.

Sequencia crescente de dificuldade de tarefas: Para cada cenário um conjunto básico de tarefas é definido. Por exemplo, no cenário sala: atender pedido verbal de pegar controle e ligar a TV ou ir a cozinha e pegar um copo de água.

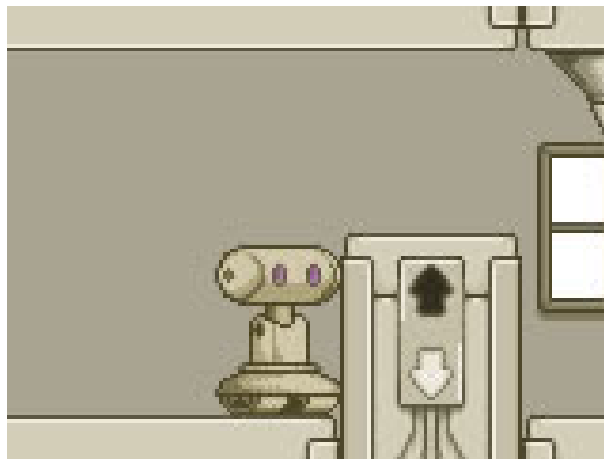
Inclusão e remoção de personagens: O testador pode incluir mais personagens no ambiente com papéis pré determinados.

Encarnar um personagem: O testador pode assumir o papel de qualquer personagem presente na tarefa alterando seu comportamento predefinido. O sistema cognitivo sob teste deve contornar situações inusitadas geradas por essa ação. Essa estratégia evita que o sistema sob avaliação viciie em uma dada tarefa.

Para garantir a rápida liberação e evolução do componente *Robot City Simulator* o desenvolvimento deve utilizar pacotes tradicionais de geração de jogos. Quatro ferramentas serão consideradas para a implementação do simulador.

As duas primeiras constroem cenário em 2D simplificando a implementação por uma curva de aprendizado e requisito de processamento menores. Como exemplos de ferramentas que geram jogos em 2D temos o Stencyl ([STENCYL, 2015](#)) (Figura 5) e o Unity em 2D (Figura 6).

Figura 5 – Imagem em 2D de tela produzida pela ferramenta Stencyl



Fonte: [Stencyl \(2015\)](#)

Figura 6 – Imagem em 2D de tela produzida pela ferramenta Unity2D



Fonte: [Unity](#) (2015)

As duas outras utilizam simulação em 3D fornecendo um visual mais atraente, naturalmente com custo superior de aprendizado e processamento. As ferramentas a serem avaliadas são: Unity ([UNITY](#), 2015) (Figura 7) e Unreal ([UNREAL4](#), 2015) (Figura 8).

Figura 7 – Imagem em 3D de tela produzida pela ferramenta Unity



Fonte: [Brouchoud](#) (2013)

Figura 8 – Imagem em 3D de tela produzida pela ferramenta Unreal



Fonte: [Unreal4](#) (2015)

3 Plano de Trabalho

Considerando os objetivos do projeto a metodologia utilizada é do tipo exploratória (GIL, 2007), ou seja, o objetivo é alcançar maior familiaridade com o problema aprofundando propostas e verificando sua viabilidade. Os passos adotados neste projeto são: Fundamentação Teórica; Projeto do Simulador; Elaborar Documentação; Validação dos Resultados.

3.1 Atividades e Cronograma

Esta proposta está dividida nas seguintes atividades:

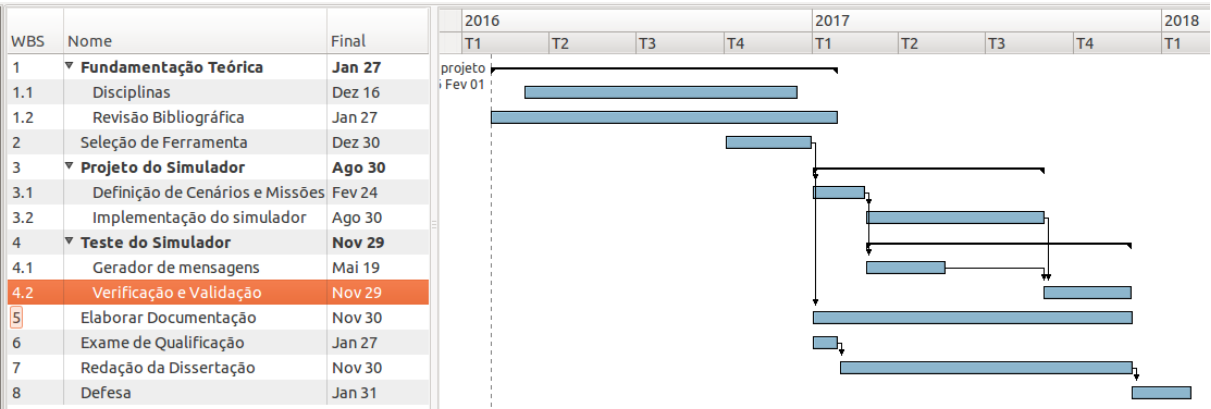
1. **Fundamentação Teórica:** Esta atividade fornece a fundamentação teórica para a evolução segura do projeto através de dois passos. O primeiro é alcançado pela realização de disciplinas associados ao programa de pós graduação do ICMC / USP São Carlos. O segundo representa a busca por conhecimentos através de pesquisa bibliográfica nas áreas de robótica, ontologia e simulação. Essa é uma atividade contínua que garante o acompanhamento do estado da arte no tema.
2. **Seleção da Ferramenta:** Conforme apresentado nessa proposta existem diversas ferramentas passíveis de serem utilizadas para gerar o simulador. Esta atividade determinará a ferramenta a ser utilizada no projeto considerando custo de aquisição, curva de aprendizado, plataformas disponíveis e usabilidade final. As ferramentas que serão investigadas são: Stencyl (STENCYL, 2015), Unity 2D e 3D (UNITY, 2015) e Unreal (UNREAL4, 2015).
3. **Projeto do Simulador:** A definição de cenários e personagens, com os quais o robô interage, representa o primeiro passo no desenvolvimento do simulador. A aplicação final do sistema cognitivo determina como será esse cenário, como exemplo temos: residencia, hospital ou uma cidade completa. Este projeto tomará como base

dois espaços presentes em uma residência: sala e cozinha. A definição dos detalhes desses espaços viabiliza a implementação do simulador com o apoio da ferramenta selecionada.

4. **Teste do Simulador:** Uma vez completado o projeto é necessário verificar e validar o simulador considerando os requisitos do projeto. O passo inicial para viabilizar o teste consiste na elaboração de um gerador capaz de produzir mensagens aderentes ao protocolo definido pela ontologia. Vale ressaltar que essa ontologia esta em desenvolvimento por aluno de doutorado associado ao Laboratório de Aprendizado de Robôs –LAR.
5. **Elaborar Documentação:** O objetivo do simulador é servir de referência no desenvolvimento de sistemas cognitivos para robôs sociais. Além da liberação como software livre é também necessário disponibilizar manuais de utilização.
6. **Exame de Qualificação:** O exame de qualificação representa um marco importante na conclusão do mestrado pois garante uma reflexão sobre os rumos do trabalho.
7. **Redação da Dissertação:** A dissertação, associada a publicações em meios científicos, garante a divulgação e a continuidade da pesquisa realizada.
8. **Defesa:** A defesa representa o marco final do projeto com a validação do trabalho junto a comunidade científica.

A figura 9 apresenta o cronograma de execução com as principais atividades presentes nesta proposta.

Figura 9 – Cronograma da proposta



Fonte: Elaborado pelo autor

4 Análise dos Resultados

O grande objetivo do trabalho é minimizar o esforço na fase de validação de sistema cognitivo voltados para área de robôs socialmente interativos. Esse objetivo é alcançado pelo desenvolvimento de um simulador, independente de dispositivos e sensores, que define um conjunto básico de cenários e missões que devam ser exercitados. Note que, longe de ser definitivo, a especificação de cenários e missões necessita ser discutida e refinada pela comunidade de forma a estabelecer um *benchmark* mínimo para validação para robôs socialmente interativos.

Esse ambiente, será disponibilizado como software livre, para agilizar a disseminação do modelo entre pesquisadores da área. Essa agilização é alcançada pela liberação do pesquisador do esforço para trabalhar com interfaces específicas dos robôs presentes atualmente nos laboratórios de pesquisa. Os pesquisadores que não possuem acesso a laboratório também são beneficiados pois podem evoluir no mesmo ritmo de outros centros com maiores recursos.

Finalmente, a utilização do padrão *1872-2015 - IEEE Approved Draft Standard for Ontologies for Robotics and Automation* facilita a portabilidade do ambiente e cria recursos que favorecem a comparação entre propostas distintas de implementação de sistemas cognitivos.

Referências

- BERRY, C. A. Teaching a First Course in Human-Robot Interaction. In: *2015 ASEE Annual Conference and Exposition*. Seattle, Washington: ASEE Conferences, 2015. <https://peer.asee.org/24799>. Citado na página 9.
- BOSTONDYNAMICS. *Atlas - The Agile Anthropomorphic Robot*. 2015. Disponível em: http://www.bostondynamics.com/robot{_}Atlas.h. Citado na página 13.
- BROUCHOUD, J. Medical simulations for health care training. *Arch Virtual*. 2013. Disponível em: <http://archvirtual.com/portfolio/medical-simulations-for-health-care-training/>. Citado na página 15.
- DARPA. *The DARPA Grand Challenge: Ten Years Later*. 2014. Disponível em: <http://www.darpa.mil/newsevents/releases/2014/03/13.aspx>. Acesso em: 24 mar. 2015. Citado na página 8.
- DARPA. *What is the DARPA Robotics Challenge (DRC)?* 2015. Disponível em: <http://theroboticschallenge.org/overview>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 12.
- DRCSIM simulator. 2015. Disponível em: <https://bitbucket.org/osrf/drcsim/wiki/Home>. Acesso em: 22/09/2015. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- FONG, T.; NOURBAKHSH, I.; DAUTENHAHN, K. A survey of socially interactive robots. *Robotics and Autonomous Systems*, v. 42, n. 3-4, p. 143–166, 2003. Citado na página 7.
- GAZEBO. *Why Gazebo?* 2015. Disponível em: <http://gazebo-sim.org/>. Citado na página 11.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo, SP: Editora Atlas, 2007. Citado na página 17.
- IEEE. *IEEE Standard Ontologies for Robotics and Automation*. New York, NY, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 13.
- OH, P. Drc: The darpa robotics challenges. RoSEC International Winter School. 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gEocSCC28Rc>. Citado na página 13.
- PLAYERSTAGE. *The Player Project*. 2015. Disponível em: <http://playerstage.sourceforge.net/>. Citado na página 11.
- PLAYERSTAGE simulator. 2015. Disponível em: <http://sourceforge.net/projects/playerstage/>. Acesso em: 22/09/2015. Citado na página 12.
- REISBERG, D. (Ed.). *The Oxford Handbook of Cognitive Psychology*. [S.l.]: Oxford University Press, 2013. ISBN 9780195376746. Citado na página 7.
- ROBOTICS, V. *A Roadmap for U.S. Robotics: From Internet to Robotics*. 2013. Disponível em: <https://robotics-vo.us/sites/default/files/2013%20Robotics%20Roadmap-rs.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 8.

ROS. *About ROS*. 2015. Disponível em: <<http://www.ros.org/about-ros/>>. Citado na página 11.

STENCYL, T. 2015. Disponível em: <<http://www.stencyl.com/game/showcase/>>. Acesso em: 22/09/2015. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.

UNITY. *Unity Manual*. 2015. Disponível em: <<http://docs.unity3d.com/Manual/index.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 17.

UNREAL4 engine. 2015. Disponível em: <<https://www.unrealengine.com/education>>. Acesso em: 22/09/2015. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 17.