

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Lívia Priscila Rodrigues de Oliveira

*A Assimilação Piagetiana auxiliando a
Cooperação Robótica*

Nova Cruz – RN

2015

Lívia Priscila Rodrigues de Oliveira

*A Assimilação Piagetiana auxiliando a
Cooperação Robótica*

Monografia apresentada à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN - como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador:
Rosiery da Silva Maia

Nova Cruz – RN

2015

Lívia Priscila Rodrigues de Oliveira

*A Assimilação Piagetiana auxiliando a
Cooperação Robótica*

Monografia apresentada à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN - como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 18 de dezembro de 2015, Natal, Rio Grande do Norte.

Banca examinadora:

Dra. Rosiery da Silva Maia - UERN
(Orientadora)

Dr. Isaac de Lima Oliveira Filho - UERN
(Avaliador 1)

Dr. Anderson Abner de Santana Souza - UERN
(Avaliador 2)

*À minha filha, Lara, ao meu esposo, Henrique,
a minha mãe, Neves e a minha irmã, Marília,
por me fazerem feliz.*

Agradecimentos

Primeiramente a Deus e a minha família, pelo amor e apoio em todos os momentos de minha vida.

A minha orientadora, Rosiery Silva Maia, com a qual aprendi muito, pela orientação e paciência para a conclusão deste trabalho.

A UERN, por sua contribuição a minha formação.

Aos meus Professores, que me ensinaram e me guiaram ao longo deste curso.

Aos colegas de graduação, com os quais compartilhei experiências e aprendizados que levarei por toda minha vida.

Resumo

Jean William Fritz Piaget busca definir, em suas teorias Psicogenética Interacionista e Epistemologia Genética, as estruturas, os processos e as etapas envolvidos na construção do conhecimento humano. Realizando a semelhança entre robôs móveis (quando em um mesmo ambiente) e os indivíduos (quando em sociedade), este trabalho analisa as principais ideias de Piaget sobre a aprendizagem humana, realiza o mapeamento dessas ideias e aplica o processo de Assimilação de conhecimento, definido na teoria da Equilibração, em um grupo de robôs em cooperação simulada. Ao final dos experimentos, conclui-se que o conceito da Assimilação, pregada pelo biólogo, auxilia na elaboração de métodos que contribuem para um ganho de conhecimento de um ambiente multirrobô simulado, agregando mais eficiência na colaboração entre os agentes. Este trabalho também expõe modelagens conceituais das teorias de Piaget relevantes ao processo de aprendizagem de indivíduos, modelagens conceituais dessas teorias mapeadas para robôs móveis e, ainda, informa alguns formalismos dessas teorias.

Abstract

Jean William Fritz Piaget defines in his theories psychogenetic interactionist and Genetic Epistemology, structures, processes and steps involved in the construction of human knowledge. Making the similarity between mobile robots (when in the same environment) and individuals (as society), this work analyzes the main Piaget's ideas about human learning, performs the mapping of these ideas and applies the assimilation process of knowledge in a group of robots in simulated cooperation. At the end of the experiments, it is concluded that the concept of assimilation assists in the development of methods that contribute to gain knowledge of a simulated multi-robot environment, adding more efficient collaboration among agents. This work also exposes conceptual modeling of the relevant Piaget's theories to the learning process of individuals, conceptual modeling of these theories mapped to mobile robots and also exposes formal models of these theories.

Lista de Figuras

1	Relação entre as teorias de Piaget estudada no trabalho.	p. 14
2	Definição do conhecimento de acordo com a Teoria Interacionista de Jean Piaget.	p. 16
3	A inteligência considerando a interação indivíduo/ambiente externo, segundo Piaget.	p. 17
4	Relação entre desenvolvimento e aprendizagem pregada por Piaget. . . .	p. 19
5	Mapeamento do significado de aprendizagem para Piaget.	p. 19
6	Ideias principais da Teoria da Equilibração de Piaget.	p. 22
7	Mapeamento da Teoria interacionista em robôs.	p. 23
8	Mapeamento da Teoria da Equilibração em robôs	p. 26
9	Mapeamento da inteligência em robôs móveis.	p. 28
10	Fluxograma dos principais procedimentos implementados para a cooperação robótica, considerando o processo de Assimilação de Piaget.	p. 31
11	Pseudocódigo implementado para a cooperação robótica, visando o ganho de conhecimento através do processo de Assimilação, pregado por Piaget.	p. 33
12	Configurações da quantidade de conhecimentos distribuídos no ambiente, antes e após as execuções dos experimentos com a Assimilação Piagetiana.	p. 35
13	Percentual de ganho de conhecimento dos robôs, após as execuções dos experimentos com a Assimilação Piagetiana.	p. 36
14	Configurações da quantidade de conhecimentos distribuídos no ambiente, antes e após as execuções dos experimentos sem a Assimilação Piagetiana.	p. 37

Lista de Tabelas

1	Quadro dos parâmetros utilizados na implementação.	p. 30
2	Exemplo de uma instância utilizada nos experimentos.	p. 30
3	Exemplo de saída do pseudocódigo implementado.	p. 33
4	Quadro demonstrativo da média do ganho de conhecimento dos robôs, obtido após 100 execuções.	p. 34
5	Quadro demonstrativo do percentual (em média) do ganho de conheci- mento dos robôs, após as 100 execuções dos experimentos com a Assimi- lação Piagetiana.	p. 36

Sumário

1	Introdução	p. 1
1.1	Motivação	p. 4
1.2	Objetivos	p. 5
1.3	Organização da monografia	p. 5
2	Sistemas Multirrobo	p. 6
2.1	Características necessárias ao Agente	p. 8
2.2	Principais justificativas para utilização de Sistemas Multirrobo	p. 9
2.3	Classificação de Sistemas Multirrobo	p. 10
2.4	Definição do ambiente multirrobo simulado	p. 11
2.5	Aprendizagem robótica	p. 13
3	Teorias de Piaget acerca da Aprendizagem humana	p. 14
3.1	Teoria Psicogenética Interacionista	p. 15
3.1.1	A Inteligência é um processo biológico	p. 16
3.1.2	A Relação entre Desenvolvimento e Aprendizagem	p. 18
3.2	Teoria da Epistemologia Genética	p. 20
3.2.1	Equilibração entre Assimilação e Acomodação	p. 20
4	Ideias de Piaget aplicadas a Sistemas Robóticos	p. 23
4.1	Conhecimento	p. 24
4.2	Aprendizagem	p. 25
4.3	Equilibração	p. 26

4.4	Inteligência	p. 28
5	Experimentos e Resultados	p. 29
5.1	Ambiente simulado para experimentos	p. 30
5.2	Algoritmo desenvolvido para a simulação	p. 31
5.2.1	Pseudocódigo implementado	p. 33
5.3	Experimentos realizados	p. 34
5.4	Análise dos Resultados do processo de Assimilação Piagetiana na coope- ração robótica	p. 35
5.4.1	Análise dos Resultados sem a Assimilação Piagetiana	p. 37
6	Conclusões	p. 38
6.1	Trabalhos Futuros	p. 39
	Referências	p. 40
	Apêndice A - Quadro Cronológico da vida e obra do pesquisador Jean Piaget	p. 44
	Apêndice B - Classe RoboSimulacao	p. 46
	Apêndice C - Classe ConhecimentoRoboObjeto	p. 48
	Apêndice D - Classe ConhecimentoRoboRobo	p. 49
	Apêndice E - Classe Assimilacao	p. 51

1 *Introdução*

Atualmente, sistemas robóticos móveis estão sendo utilizados em diversas áreas: em superfícies planetárias, órbita e no espaço (PEDERSEN et al., 2002; DIFTLER; AMBROSE, 2001); no deserto polar da Antártida para buscar e identificar meteoritos de forma autônoma (APOSTOLOPOULOS et al., 2000); em ambientes hostis, sendo manipulados remotamente ou teleoperados (AKIN, 2001); em uso militar (WHITWORTH; HARRIS, 1987; ARQUILLA; BUELL, 2015); como acessibilidade em cadeiras de rodas (SGOUROS, 2002); na indústria (GLEESON et al., 2013; MILLER, 1983); na agricultura (HAGRAS et al., 2002; ARGUENON et al., 2006); e auxiliando em hospitais (TAKAHASHI et al., 2010; JEONG et al., 2015).

Os robôs têm a tarefa de reduzir a necessidade da presença humana (seja em atividades repetitivas ou que envolvam alto grau de periculosidade) ou de executar tarefas impróprias aos humanos (CONCEICAO, 2007). No entanto, existem contextos em que as tarefas são complexas para apenas um único robô, que não é capaz de executar sem que haja a necessidade de maiores recursos computacionais (*hardware e software*). Dessa forma, essas tarefas devem ser executadas por um grupo de robôs, agindo cooperativamente em busca de um objetivo global comum a todos (SOUSA, 2008).

Os sistemas que são compostos por mais de um robô são chamados de Sistemas Multirrobôs (*Multi-Robot Systems - MRS*). Eles possuem um conjunto de robôs, cada um com uma estrutura física própria, sensores, atuadores e processadores. Esses robôs devem interagir uns com os outros visando alcançar um objetivo comum. Eles podem ser autônomos (capazes de realizar operações independentes), podem ser heterogêneos (com características de *hardware* e/ou *software* distintas) ou homogêneos (com características de *hardware* e *software* idênticos).

Os MRS estão sendo cada vez mais utilizados e se apresentando cada vez mais “inteligentes”, uma vez que há uma busca por mais eficiência nas execuções de tarefas pelo grupo de robôs, de forma autônoma. Esse contexto traz um grande desafio: desenvolver ferra-

mentas que permitam que os robôs do grupo cooperem entre si na realização de objetivos comuns e ainda consigam, sozinhos, alterar suas configurações e atualizar as informações do ambiente em que atuam.

É possível encontrar na Literatura pesquisas apresentando diferentes configurações de MRS, com o objetivo de apresentar métodos capazes de controlar a cooperação entre o grupo de robôs, de modo robusto e flexível. Dentre essas pesquisas, existe uma abordagem voltada para o estudo de teorias de aprendizagem aplicadas em indivíduos reais, quando em sociedade. A proposta dessa abordagem é simular o comportamento dos robôs em grupo, quando atuando em mesmo ambiente físico, baseado nos direcionamentos defendidos nessas teorias sociais (MAIA, 2012).

Barbosa, Maia e Souza (2012) mostram uma análise das formas de condução dessa abordagem social aplicada aos robôs, seguindo a orientação de algumas heurísticas construtivas específicas. Nesse caso, esse trabalho informa simulações de um grupo de robôs que cooperam em função de uma missão a ser resolvida. A cooperação é bastante simples e totalmente baseada na troca de informações entre os robôs, seguindo critérios para a permanência do mesmo número de robôs ativos no ambiente.

A troca de mensagens adotada é uma alternativa advinda de modelos sociais formalizados para ambientes robóticos (MAIA; GONCALVES; SOUZA, 2011). No entanto, alguns trabalhos utilizam métodos de Inteligência Artificial com eficiência, como é o caso de (MARRO; GONCALVES; MAIA, 2011). O *software* implementado contém procedimentos cujo objetivo é aplicar um processo de Aprendizagem em um ambiente multirrobô (quando em resolução cooperativa de tarefas).

Segundo Maia (2012), a cooperação multirrobótica pode ser mapeada através da cooperação de indivíduos reais, com características biológicas e/ou intelectuais diferentes. Para isso, um grupo de robôs heterogêneos, que atuam em um mesmo ambiente físico, podem atuar como indivíduos simulados, considerando algumas restrições. Os seres humanos possuem modelos de aprendizado que podem variar conforme características biológicas ou sociais de cada indivíduo. A pessoa aprende à medida que alguns fatores incentivam transformações em sua estrutura mental, tais como: aptidão (devido à disposição genética), motivação e experiência passada.

Sendo assim, os processos de aprendizagem de indivíduos reais podem ser compreendidos como uma alteração na estrutura mental de quem aprende, causada por fatores internos ou externos. Em se tratando de robôs, o processo de aprendizagem pode ser compreendido como uma alteração na estrutura de *software* de cada robô individualmente,

sendo esse processo causado por fatores do ambiente multirrobo.

Jean William Fritz Piaget é um biólogo, psicólogo e epistemólogo suíço que desenvolveu teorias sobre as formas do aprendizado humano (MUNARI, 2010). Piaget afirmou que o indivíduo aprende à medida em que o ambiente o desafia, fazendo-o se adaptar às mudanças. Inicialmente, o aprendizado é resultado de reflexos físicos que causam satisfação. Com o tempo, a pessoa começa guardar informações e as mudanças começam a acontecer por meio de processos de raciocínio mental (PIAGET, 1970).

Uma teoria muito conhecida de Piaget é a Teoria da Equilibração. Ela afirma que o processo de aprendizagem do indivíduo deve se basear no equilíbrio entre o que se aprende (conhecimento novo) e o que se altera (conhecimento já existente). Nesse caso, Piaget define os termos Assimilação como sendo a aquisição de um conhecimento novo e Acomodação como sendo a alteração de um conhecimento já consolidado pelo indivíduo. Ele também afirma que sem essa condição de equilíbrio, o indivíduo não se insere em um contexto de aprendizagem promissor (PIAGET, 1972).

Partindo das teorias do epistemólogo, cujo contexto são as condições de aprendizagem de indivíduos, e idealizando essas condições em grupos de robôs, este trabalho identifica um modelo de cooperação que pode ser seguido, visando um resultado de captação de conhecimento pelo ambiente multirrobo. Este trabalho, por sua vez:

1. analisa e modela ideias do processo de aprendizagem de indivíduos;
2. mapeia as ideias analisadas em robôs móveis e heterogêneos;
3. realiza através do processo de Assimilação de conhecimento (sob a ótica de Piaget), experimentos simulados em ambientes multirrobo, analisando os resultados em termos de ganho de conhecimento.

Com a finalização dessa pesquisa, foi observado que a troca de conhecimento entre grupo de robôs se mostrou eficiente, simples e permitiu um aumento de conhecimento na base de dados dos robôs individualmente, ocasionando uma perspectiva de aprendizagem no ambiente. Com isso, conclui-se que o ambiente passou por um processo de aprendizagem. A análise foi constatada em robôs heterogêneos simulados, disponíveis para a resolução cooperativa de tarefas (no caso, reconhecimento de objetos) e dispostos em um mesmo ambiente multirrobo.

1.1 Motivação

Vários pesquisadores teóricos possuem ideias sobre o processo de aprendizagem de indivíduos (tanto adultos, quanto crianças), como é o caso da abordagem defendida pelo Behaviorismo Clássico de John Broadus Watson [Watson 1913]; da teoria da Zona de Desenvolvimento Proximal de Lev Semenovich Vygotsky (VYGOTSKY, 1978, 1991, 1993); e da teoria da Equilibração de Jean William Fritz Piaget (PIAGET, 1970, 1977, 1978; PIAGET; INHELDER, 1982; PIAGET, 1983, 1996);

Watson, defensor do Behaviorismo em sua forma mais Clássica, afirma que o estímulo é o principal fator que define o comportamento do indivíduo no meio em que vive, definindo seu conhecimento futuro. Vygotsky afirma existir uma zona de desenvolvimento cognitivo do indivíduo (denominada Zona de Desenvolvimento Proximal) que acolhe todo conhecimento que ainda não foi adquirido, mas que ainda poderá ser. Já Piaget definiu, através da Teoria da Equilibração, que cada indivíduo deveria saber o ponto de equilíbrio entre Assimilar (adquirir) e Acomodar (atualizar) conhecimento. Todos apresentam teorias importantes do contexto do desenvolvimento cognitivo dos indivíduos, de acordo com suas abordagens.

Baseando-se nessas teorias, Maia e Goncalves (2015) mostram um modelo que formaliza o desenvolvimento intelectual de robôs, denominado Modelo de Desenvolvimento Intelectual para Sistemas Multirrobôs - IDeM-MRS. Esse modelo defende a aplicação de processos sociais em regras para a aprendizagem dos robôs, como forma de torná-los, a cada interação, agentes mais autônomos e inteligentes. Nesse caso, o robô pode ser definido como uma entidade computacional capaz de aprender através da interação com outros robôs do mesmo ambiente, que é um local onde se comunicam com o objetivo de administrar a diferença entre suas próprias habilidades e a dos seus pares.

Diante da formalização definida em (MAIA; GONCALVES; SOUZA, 2011) de um ambiente físico fechado que contém agentes robóticos móveis, autônomos e com habilidades heterogêneas entre si, este trabalho mostra o mapeamento das teorias de Jean Piaget, relevantes ao processo de aprendizagem de indivíduos reais e que podem auxiliar no processo similar de robôs móveis.

1.2 Objetivos

O objetivo geral dessa trabalho é verificar se as ideias pregadas por Jean Piaget podem influenciar positivamente na cooperação robótica. A partir da existência dessa possibilidade, concluir sobre a eficiência de um ambiente multirrobo, quando em resolução cooperativa de tarefas por um grupo de robôs.

Alguns pontos específicos são levados em consideração para a realização desse trabalho:

- prover modelagens conceituais das teorias de Jean Piaget para os indivíduos e mapeá-las em robôs;
- investigar e admitir a formalização do ambiente multirrobo definida previamente em (MAIA; GONCALVES; SOUZA, 2011);
- investigar as teorias de Piaget relacionadas com a aprendizagem de indivíduos reais;
- analisar como os processos de aprendizagem de indivíduos reais (por Piaget) podem ser aplicados em sistemas multirrobo, entendendo suas similaridades, especificações e diferenças;
- considerar a formalização definida por Maia, Goncalves e Souza (2011), demonstrar a modelagem de teorias de Piaget em robôs móveis, considerando a cooperação de um grupo de robôs e visando a aprendizagem de cada componente;
- analisar o benefício dos modelos para a aprendizagem de sistemas robóticos;

1.3 Organização da monografia

Este documento está distribuído em 7 capítulos: o Capítulo 2 trata de sistemas multirrobo; o Capítulo 3 expõe das Teorias de Piaget mais importantes para esse trabalho; o Capítulo 4 faz o mapeamento das ideias analisadas de Piaget em robôs móveis, quando em sistemas cooperativos; o Capítulo 5 informa os experimentos e os resultados obtidos com a aplicação do processo de Assimilação Piagetiana na cooperação robótica; o Capítulo 6 realiza a conclusão da análise dos resultados obtidos; logo após, estão listadas as Referências bibliográficas; e, por fim, o Apêndice, contendo uma biografia resumida do pesquisador Jean Piaget e o código fonte implementado.

2 *Sistemas Multirrobo*s

Para iniciar o estudo de sistemas multirrobo é necessário saber o que é um robô. A palavra robô vem do checo *robota* (que significa "trabalho forçado") e foi usada pela primeira vez com o sentido de uma máquina automática pelo escritor Karel Capek em 1921 em sua peça *Rossumovi Univerzální Roboti - R.U.R.*, (NEHMZOW, 1999). Atualmente existem diversas definições para um robô, sendo todas elas mais elaboradas que sua versão original. Por exemplo, segundo Russell e Norvig (2003), robôs são agentes físicos que, ao executarem seus processos, os fazem manipulando o mundo material.

De outra maneira, Nehmzow (1999) afirma que um robô não deve ser considerado apenas como um computador sobre rodas, mas como um ente capaz de perceber o ambiente através de seus sensores, identificar atributos, detectar padrões e regularidades, aprender a partir de experiência, localizar-se, construir mapas e navegar. Para realização desses processos, os robôs são equipados com atuadores atributos para manipulação, como garras, articulações e rodas, além de sensores de percepção para identificarem o ambiente ao redor.

Resumidamente, o conceito de robô coincide com a definição de agente inteligente definida em (RUSSELL; NORVIG, 2003), como sendo algo que pode ter a percepção de um ambiente através de sensores e agir nesse ambiente através de atuadores. O que não difere de outros trabalhos, como (MAES, 1994), quando afirmam que um agente é um sistema computacional que habita e age em um dado ambiente, podendo realizar um conjunto de objetivos ou tarefas para o qual foi projetado.

Compilando esses conceitos, Wooldridge e Jennings (1995) definem agente como um sistema computacional, situado num dado ambiente, que tem a percepção desse ambiente através de sensores, tem capacidade de decisão, age de forma autônoma nesse ambiente através de atuadores, e possui capacidades de comunicação de alto-nível com outros agentes e/ou humanos, de forma a desempenhar uma dada função para a qual foi projetado.

Um robô (ou agente robótico) pode se prevalecer, tanto das definições de agentes inteligente, quanto das propriedades. Sendo assim, adicionando o entendimento de movimento

às definições de robô, conclui-se que robô móvel é uma máquina capaz de se movimentar em um ambiente específico, de forma autônoma ou não, agindo pró-ativamente e/ou re-ativamente com as alterações do ambiente, e se for o caso, interagindo com outros robôs através de sua habilidade social. Dessa forma, robôs móveis podem atuar em situações onde a intervenção humana é potencialmente perigosa ou ineficiente, como por exemplo: em cenários de risco como, limpeza de resíduos tóxicos, descontaminação de ambientes nucleares, exploração planetária, combate a incêndios, segurança e vigilância.

Contudo, o robô precisa ser alicerçado com pesquisas interdisciplinares, o que faz perceber a riqueza e a diversidade de linhas de pesquisa que emergem dessa área de pesquisa. Um exemplo disso foi o trabalho desenvolvido em (ROOKER; BIRK, 2005), que utiliza robôs em missões de resgate de vítimas de desastres.

A robótica móvel, portanto, gera muito interesse em pesquisadores, como pode ser percebido pela vasta e diversa literatura disponível. Em se tratando dos fundamentos é possível destacar alguns assuntos, tais como Visão Robótica, princípios computacionais, Inteligência Artificial aplicada em robôs, autonomia, Robótica probabilística, dentre outros (NEHMZOW, 1999; DUDEK; JENKIN, 2000; MURPHY, 2000; SIEGWART; NOURBAKSH, 2004; THRUN; BURGARD; FOX, 2005).

A *RoboCup Federation* (KITANO et al., 1997), instituição criada com o intuito de promover e estimular pesquisas nas áreas de Inteligência Artificial e de Robótica, estabeleceu um cenário de referência para pesquisas com grupos de robôs móveis. Através do futebol de robôs ¹ é possível inserir estudos sobre navegação, visão computacional, fusão de sensores, estruturas mecânicas, fontes de alimentação, e outras.

Com o trabalho em equipe, surge a ideia de cooperação, que pode ser entendida como a capacidade que os robôs têm de trabalhar em conjunto de forma a concluírem tarefas de interesse comum. Ferber (1999) acredita que a cooperação entre robôs é fundamental, sendo a razão principal para a existência de um ambiente multirrobo (ou multiagente). Tal como os humanos, os robôs têm de combinar os seus esforços de forma a atingir objetivos comuns que não podem ser atingidos individualmente. Dessa forma, eles cooperam entre si com o objetivo de realizarem uma dada tarefa, no entanto, devem dispor de regras ou metodologias apropriadas para essa cooperação, levando em consideração a tarefa.

¹O futebol de robôs é uma disputa em que duas equipes de robôs com rodas disputam a posse de uma bola em um campo do tamanho de uma mesa de pingue-pongue.

2.1 Características necessárias ao Agente

Por definição, agente é um sistema computacional que possui tanto componentes de *hardware*, quanto se *software*. Este último deve ser capaz de permitir que o agente desenvolva algumas características, como autonomia, reatividade, pró-atividade e/ou habilidade social.

- **Autonomia:** propriedade que permite ao agente inteligente tomar decisões importantes para a conclusão de uma tarefa ou objetivo, sem a necessidade da interferência do ser humano ou qualquer outra entidade. Portanto, com a autonomia, os agentes operam sem a intervenção direta de humanos (ou de qualquer outro agente externo), possuem controle sobre as suas ações e conhecem seu estado interno.
- **Reatividade:** permite aos agentes perceberem o seu ambiente e, com isso, responderem rapidamente às alterações que nele ocorram. Porém, construir agentes reativos é simples, mas não é desejável. Maes (1994) afirma que um agente puramente reativo reagiria consecutivamente às mudanças no ambiente sem procurar atingir os seus objetivos de médio ou longo prazo. Isto é, o agente não seria capaz de exibir um comportamento orientado por objetivos.
- **Pró-atividade:** propriedade que permite a obtenção de comportamentos orientados por objetivos. É considerada simples de realizar em sistemas, no entanto, esta simplicidade só se verifica em ambientes estáticos (ambientes que não mudam durante a execução de um dado procedimento ou função). O motivo disso é que, nesse caso, o agente terá ao seu dispor toda informação de que necessita para executar um procedimento, sem incerteza no ambiente. Porém, quando o ambiente é dinâmico os agentes têm de ser reativos e, conseqüentemente, capazes de reagir rapidamente às mudanças no ambiente.
- **Habilidade social:** está diretamente associada à capacidade de comunicação (ou de interação) de um agente com os outros, do mesmo ambiente. O agente deve ser capaz de se comunicar através de uma linguagem compreensível a outro agente para, a partir dessa interação, compartilhar informações. Dessa forma, o agente se capacitará para incluir processos sociais, como coordenação, cooperação, competição ou negociação.

2.2 Principais justificativas para utilização de Sistemas Multirrobo

Além das aplicações já mencionadas que utilizam apenas um robô para sua execução, existem situações em que mais de um robô atua melhor em função da resolução do objetivo. Os sistemas multirrobo (*Multi-Robot Systems* - MRS) são sistemas que possuem um grupo de robôs que agem sobre um ambiente e cooperam em função da conclusão de um objetivo comum a todos. Cao, Fukunaga e Kahng (1997) e Arkin e Balch (1998) apresentam algumas justificativas para a utilização de um ambiente composto por um grupo de agentes (ou robôs), que estão definidas a seguir.

- **Quando a tarefa é de alta complexidade:** Uma determinada tarefa pode ser complexa demais para ser executada por um único robô. Na maioria dos casos, essa tarefa complexa pode ser executada com um desempenho bem superior, se mais de um robô executar uma tarefa menor e menos complexa, desde que o conjunto dessas tarefas menores componham, em sua totalidade, a tarefa de alta complexidade.
- **Quando é necessário um sistema robusto:** Múltiplos robôs garantem uma maior tolerância a falhas, especialmente em grupos de robôs que apresentam características semelhantes e com controle distribuído. Nesse caso, caso um robô apresente alguma falha, o sistema não terá maiores problemas com a substituição desse robô por outro qualquer do ambiente. Já em casos em que há robôs com características diferenciadas, pode haver um maior problema ao se identificar falha em algum robô com características importantes para a tarefa.
- **Quando há necessidade de maior simplicidade computacional:** Robôs que trabalham em grupo tendem a ser mais simples computacionalmente e, consequentemente, mais baratos que um único robô (mais completo, robusto e complexo) para realização da mesma tarefa.
- **Quando é necessário maior espaço/tempo:** Um time de robôs pode explorar mais rapidamente uma determinada área do que um único robô.
- **Quando é imprescindível maior confiabilidade:** A redundância de dados sensoriais capturados pelos membros do grupo de robôs pode ser útil para se obter uma descrição mais precisa e confiável do ambiente.

2.3 Classificação de Sistemas Multirrobo

Existem diferentes tipos de MRS que podem ser classificados com base nas características dos agentes robóticos que o compõem (MATARIC, 1995). De acordo com as características de seus membros, um grupo de robôs pode ser classificado como:

- **Grupo homogêneo:** é a classificação dada a grupos que possuem robôs que apresentam características idênticas, tanto de *software* quanto de *hardware*. Os robôs, possuindo a mesma forma, são capazes de apresentar os mesmos comportamentos e de executar os mesmos tipos de tarefas. Sistemas compostos por apenas robôs homogêneos são bem tolerantes a falhas porque não dependem exclusivamente de um tipo de robô.
- **Grupo heterogêneo:** é o grupo de robôs em que pelo menos um apresenta alguma característica diferenciada dos demais, seja de *software* ou de *hardware*. Os agentes robóticos desse grupo podem apresentar formas e comportamentos distintos, além de se diferenciarem na escolha para execução de tarefas específicas. Em casos em que existe um robô mais robusto, ele poderá ser definido como o principal responsável pela coordenação do grupo, e também poderá ser designado para tarefas mais complexas. No entanto, caso esse robô mais robusto apresente alguma falha, o sistema poderá ficar em risco, podendo apresentar uma falha generalizada.

Quanto à estratégia de coordenação (forma de gerenciamento do grupo em termos de comunicação), um grupo de robôs pode apenas coexistir, ser fracamente acoplado ou ser fortemente acoplado (BOTELHO; ALAMI, 2000).

- **Grupo coexistente:** mesmo que os membros do grupo partilhem tarefas no ambiente, eles não se intercomunicam e tratam uns aos outros como obstáculos.
- **Grupo fracamente acoplado:** os robôs reconhecem o restante do grupo e podem até seguir comportamentos coordenados, mas não dependem uns dos outros para completar as tarefas. Isto torna o sistema robusto, pois, caso um membro do grupo seja removido ou falhe, o comportamento dos outros membros não será afetado.
- **Grupo fortemente acoplado:** os robôs se intercomunicam e se coordenam de modo preciso durante a realização das tarefas. Isto aumenta o desempenho da equipe, mas diminui a sua robustez, pois a falha ou remoção de um robô afeta diretamente seu desempenho.

2.4 Definição do ambiente multirrobô simulado

Considerando as classificações descritas na sessão 2.3, é necessário afirmar que esse trabalho atua no contexto de um sistema multirrobô simulado, sendo ele fracamente acoplado e composto por robôs homogêneos. Sendo assim, foi proposto por Maia, Souza e Goncalves (2010) e experimentado por Maia, Goncalves e Souza (2011), um formalismo que define esse contexto de um grupo de robôs em um ambiente fechado, tal que esse grupo deve ser regido pela cooperação do grupo, sem qualquer interferência de um agente externo ao ambiente (um humano, por exemplo), . Nesse modelo formal, sistemas multirrobôs são compostos pelos itens que estão enumerados a seguir.

1. Agentes robóticos disponíveis em um mesmo tempo;
2. Tarefas a serem realizadas, que totalizam a missão global (ou objetivo global);
3. Características físicas (*hardware*) de cada robô;
4. Conhecimentos básicos (*software*) prévios de cada robô;
5. Capacidades físicas (*hardware*) requeridas por cada tarefa;
6. Conhecimentos básicos (*software*) requeridos por cada tarefa.

Sabendo que o conjunto de todos os robôs do ambiente, no instante de tempo t , é representado por $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, tal que m é a quantidade de robôs. Sabendo também que o conjunto de conhecimentos básicos que o robô r_m possui é definido por $C(r_m) = \{c_1, c_2, \dots, c_x\}$ e que seu conjunto de características físicas é $F(r_m) = \{f_1, f_2, \dots, f_y\}$, tal que x e y são, respectivamente, a quantidade de conhecimentos básicos e características físicas que o robô r_m possui.

De forma análoga, sabendo que o conjunto de todas as tarefas a serem solucionadas pelo ambiente é $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, tal que n é a quantidade de tarefa da missão M (objetivo global), correspondente a essa sequência de tarefas, que o grupo de robôs deve executar. Sabendo também que o conjunto de conhecimentos básicos necessários para resolução da tarefa t_n é tido por $C(t_n) = \{c_1, c_2, \dots, c_v\}$ e que o seu conjunto de capacidades físicas requerido é tido por $F(t_n) = \{f_1, f_2, \dots, f_w\}$, tal que v e w são, respectivamente, a quantidade de conhecimentos básicos e capacidades físicas necessários que a tarefa t_n requer para sua resolução.

Sendo assim, para que o sistema multirrobo obtenha êxito na resolução da missão M , é necessário que o grupo de robôs R cooperem para executar a sequência de tarefas T , uma a uma. Todos os robôs do grupo podem ser heterogêneo e são fracamente acoplados. Assim sendo, para que o robô r_i execute a tarefa t_j , é necessário que ele possua todos os conhecimentos básicos e capacidades físicas requeridos pela tarefa, ou seja, $C(r_i) \subseteq C(t_j)$ e $F(r_i) \subseteq F(t_j)$, respectivamente. Caso contrário, r_i não estará apto à execução de t_j .

Resumidamente, o modelo formal do ambiente multirrobo simulado pode ser compreendido pelos conceitos a seguir:

1. $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, $\forall m \in \mathbb{N}$, é o conjunto de todos os robôs do ambiente, no instante *tempo*;
2. $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, $\forall n \in \mathbb{N}$, é o conjunto de todas as tarefas a serem solucionadas pelo ambiente. Esse conjunto refere-se ao objetivo global que o grupo de robôs deve executar.
3. $F(r_m) = \{f_1, f_2, \dots, f_y\}$, $\forall y \in \mathbb{N}$, é o conjunto de características físicas que o robô r_m possui;
4. $C(r_m) = \{c_1, c_2, \dots, c_x\}$, $\forall x \in \mathbb{N}$, é conjunto de conhecimentos básicos que o robô r_m possui;
5. $F(t_n) = \{f_1, f_2, \dots, f_w\}$, $\forall w \in \mathbb{N}$, é conjunto de capacidades físicas necessárias para a resolução da tarefa t_n .
6. $C(t_n) = \{c_1, c_2, \dots, c_v\}$, $\forall v \in \mathbb{N}$, é que o conjunto de conhecimentos básicos necessários para resolução da tarefa t_n .

Sendo assim, considerando esse último item, para que o robô r_m execute a tarefa t_n , é necessário que ele possua todos os conhecimentos básicos e capacidades físicas requeridos pela tarefa (respectivamente, equações 2.1 e 2.2). Caso contrário, r_m não estará apto à execução de t_n .

$$C(r_m) \subseteq C(t_n) \tag{2.1}$$

$$F(r_m) \subseteq F(t_n) \tag{2.2}$$

2.5 Aprendizagem robótica

A aprendizagem é uma característica almejada em sistemas multirrobo autônomos, devido à busca por melhoria de conhecimento (ganho e alteração) de um grupo de robôs que atuam juntos. Para caracterizar aprendizagem, um robô deve possuir capacidade para executar uma tarefa com maior eficiência do que em execuções anteriores, ou no mínimo igual, quando um limiar de aprendizado da tarefa é atingido. Sem esta capacidade básica, o robô reagirá sempre da mesma maneira para um mesmo ambiente e uma mesma situação.

Apesar dos benefícios previstos, a utilização de múltiplos agentes em sistemas robóticos acarreta uma série de problemas. Em (ARKIN; BALCH, 1998) são analisadas alguns pontos específicos diretamente relacionados a sistemas formados por grupos de robôs:

- **Possível necessidade de interferência:** o fato de múltiplos robôs compartilharem o mesmo ambiente aumenta as chances de colisão, quando em movimento. Sendo assim, o sistema precisa tratar essa situação da melhor maneira, para, caso ocorra, fazer uma interferência na execução.
- **Comunicação eficaz:** uma das necessidades básicas de robôs que atuam em conjunto é a necessidade de estabelecer uma comunicação aceitável entre todos os componentes. Por causa dessa comunicação, robôs devem requerer recursos adicionais de *hardware*, *software* e energia, além de ser conveniente tratar problemas como ruído, diminuindo a confiabilidade do sistema.
- **Incerteza nas informações:** para garantir uma coordenação eficiente é necessário conhecer o que os robôs estão fazendo. Quando esse conhecimento não é claro ou não é total, seja por falta de informação ou por falha de comunicação, a coordenação fica comprometida, desestabilizando o sistema por completo.

Todos esses fatores podem direcionar um sistema para um âmbito confiável ou não. Visando melhorar e estabilizar a confiabilidade de sistemas multirrobo, busca-se tornar a cooperação e a coordenação, de um grupo de robôs, o mais eficiente possível. Também estima-se que a aprendizagem é uma característica benéfica ao sistema, trazendo a possibilidade de aquisição e atualização de conhecimento. É através desses anseios (confiabilidade e aprendizagem) que esse trabalho analisa a cooperação robótica segundo uma nova abordagem.

3 Teorias de Piaget acerca da Aprendizagem humana

Jean William Fritz Piaget ficou conhecido em todo o mundo por suas contribuições em psicologia do desenvolvimento, porém sua formação acadêmica era de biólogo e ainda possuía largo conhecimento em filosofia e epistemologia (teoria do conhecimento). Apoiado nessa interdisciplinaridade, dedicou-se ao estudo da capacidade cognitiva humana partindo de investigações teóricas e experiências empíricas. Seus estudos resultaram em uma das mais completas teorias da atualidade sobre a construção do conhecimento, e que estabelece bases biológicas para informar sobre as estruturas e os processos envolvidos na construção do conhecimento, buscando entender o desenvolvimento do pensamento e do conhecimento humano (KESSELRING, 2008).

A inovadora ideia desse trabalho é estudar as principais teorias de Jean Piaget que atuam nas diversas formas de aprendizado humano, para uma possível aplicação em sistemas robóticos, mais precisamente na cooperação do grupo. Modelagem de ideias contidas em teorias, como a Psicogenética Interacionista e na Epistemologia Genética, em que a primeira formou as bases para o desenvolvimento da segunda, podem induzir um ambiente multirrobô cuja cooperação seja voltada para regras retiradas de modelos sociais de indivíduos. As teorias de Piaget analisadas nesse trabalho estão informadas na Figura 1.

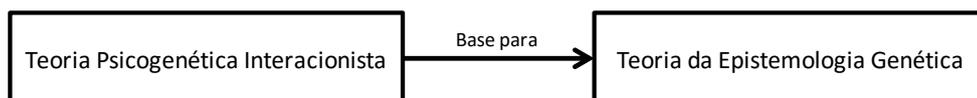


Figura 1: Relação entre as teorias de Piaget estudada no trabalho.

3.1 Teoria Psicogenética Interacionista

Em meados da década de 20, no período em que Jean Piaget iniciava seus estudos de psicologia, algumas questões importantes a respeito da relação entre aprendizagem e desenvolvimento eram fortemente discutidas. Havia uma atenção especial para obter as devidas respostas a esses questionamentos, que são:

- O conhecimento nasce com o indivíduo?
- Até que ponto o meio externo tem influência sobre o desenvolvimento do indivíduo?
- As capacidades do indivíduo são determinadas pela hereditariedade?

Contudo, as respostas para essas perguntas eram divergentes, já que os estudos de psicologia da época estavam orientados em duas perspectivas diferentes. Havia uma frente que seguia orientações segundo uma perspectiva Inatista, e outra que se baseava na perspectiva Ambientalista. Essas duas abordagens ponderavam diferentemente os fatores mais importantes diante da aprendizagem (PALANGANA, 2001). A saber:

- **Psicologia Inatista:** os fatores internos dos indivíduos (fatores biológicos e cognitivos) eram privilegiados. Nessa concepção, o indivíduo nasce com certas aptidões, habilidades, conceitos, conhecimentos e qualidades.
- **Psicologia Ambientalista:** os fatores externos eram levados como prioridade. Nessa perspectiva, o ambiente é o responsável por determinar o conhecimento do indivíduo que nele habita.

Piaget se contrapõe a essas ideias afirmando, através de sua teoria Psicogenética de carácter Interacionista, que o conhecimento não é imanente nem ao indivíduo que busca conhecer, nem ao objeto a ser conhecido. Sendo assim, ele acreditava que o conhecimento era construído com a interação entre estes dois elementos (indivíduo e objeto) (PALANGANA, 2001).

Após a análise desses conceitos, uma definição é concluída como uma forma de obter um item importante para uma aplicação na aprendizagem de robôs (Definição 1). A Figura 2 mostra os conceitos relacionados conforme a Teoria Interacionista de Piaget, onde o conhecimento é resultado da interação entre o indivíduo e o objeto.

Definição 1 (Conhecimento 1) *O conhecimento é construído com a interação entre o indivíduo que busca conhecer e o objeto a ser conhecido.*

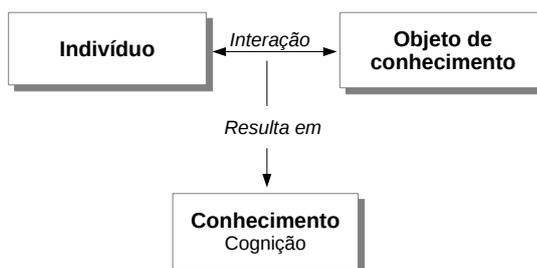


Figura 2: Definição do conhecimento de acordo com a Teoria Interacionista de Jean Piaget.

3.1.1 A Inteligência é um processo biológico

Piaget argumenta em defesa da integração entre a biologia e a psicologia (PIAGET, 1996). Investigando as principais ideias de outros estudiosos da área, ele não só definiu sua posição em relação à evolução biológica, como também defendeu que os processos e estruturas que sustentam a evolução das espécies são análogos àqueles que sustentam a construção do conhecimento (PIAGET, 1977). As ideias analisadas por Piaget foram:

- **Lamarckismo (1744-1829):** as ideias evolucionistas do biólogo Jean Baptiste Antoine de Monet de Lamarck, no início do século XIX, objetivou explicar a evolução das espécies, desde o princípio da vida no planeta Terra. Ele publicou sua primeira teoria no ano de 1809, no livro “Filosofia Zoológica”, no qual ele informa que mudanças no ambiente causam mudanças nas necessidades dos organismos que ali habitam, causando mudanças no comportamento (LAMARCK, 2011).
- **Darwinismo:** o naturalista inglês Charles Darwin conseguiu demonstrar que os indivíduos mais fortes e adaptados de uma espécie tendem a alcançar mais facilmente a fase adulta e gerar novos indivíduos com estas características favoráveis ao desenvolvimento. Já os mais fracos, ou com características pouco favoráveis para o desenvolvimento, tendem, com o passar do tempo, a desaparecer. Essa é a conhecida Teoria da Seleção Natural em que sobrevivem os mais aptos da espécie, transmitindo seus caracteres através da hereditariedade (DARWIN, 1929).
- **Neodarwinismo:** também conhecida como Teoria Moderna da Evolução (ou Teoria Sintética), unifica as ideias de Darwin e as descobertas da genética nas décadas de 30 e 40 do século XX. Essa teoria afirma que os fenômenos evolutivos fundamentam-se nos mecanismos genéticos, ou seja, a evolução ocorre pelas mutações e pela recombinação gênica, norteadas pelo processo de seleção natural (HUXLEY, 1942).

Existe, segundo Piaget, uma continuidade entre a inteligência e os processos biológicos de maturação e de adaptação ao meio (PIAGET, 1970). A inteligência seria um tipo de adaptação biológica em que o indivíduo forma relações entre o pensamento e as coisas. Por esse motivo, ele acreditava que o conhecimento não é uma faculdade inata, mas uma construção humana resultante da interação deste com o mundo, de modo que o ambiente não representa a razão da produção do conhecimento. A causa deve ser buscada nas atividades internas do organismo do indivíduo (fatores biológicos), quando em fase de adaptação ao meio ambiente (KESSELRING, 2008). Portanto, é possível obter a Definição (2).

Definição 2 (Conhecimento 2) *O conhecimento é gerado pelo indivíduo por um processo biológico, quando ele interage com o ambiente em que vive.*

Como ilustrado na Figura 3(a), a inteligência é um processo biológico de maturação do indivíduo, que é invocado da necessidade de adaptação ao meio. Ao nascer, a atividade intelectual é mais restrita, porém, com o tempo e com as experiências vividas pelo indivíduo em todos os níveis de desenvolvimento, a inteligência prolonga e supera a organização biológica devido à elaboração de novas estruturas. Com isso, o conhecimento é gerado pelo indivíduo (por um processo biológico), quando ele interage com o meio em que vive. Esses conceitos e a simplificação dessas ideias como procedimento para apuração de papéis significativos na Robótica, estão mostrados nas figuras 3(a) e 3(b), respectivamente.

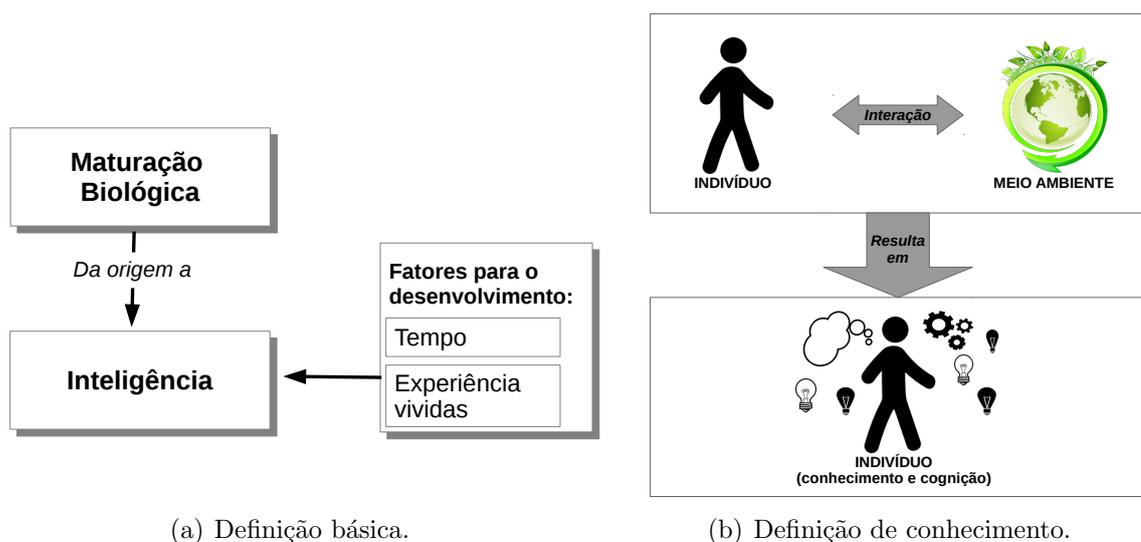


Figura 3: A inteligência considerando a interação indivíduo/ambiente externo, segundo Piaget.

3.1.2 A Relação entre Desenvolvimento e Aprendizagem

Jean Piaget distingue desenvolvimento de aprendizagem, destacando que a aprendizagem está diretamente vinculada às aquisições que decorrem, fundamentalmente, em função de uma experiência, seja ela obtida de forma sistemática ou não. Já o desenvolvimento intelectual se define por processos internos espontâneos do organismo.

Na concepção Piagetiana toda aprendizagem está alicerçada nas condições do desenvolvimento. Isto é, toda aprendizagem se dá a partir dos conhecimentos anteriores do indivíduo, porém esta só ocorre através da ação do indivíduo em resposta às solicitações do ambiente. Tudo o que é aprendido amplia ou reconstrói o conhecimento, formando estruturas cada vez mais complexas e contribuindo para o desenvolvimento. Sendo assim, a ligação entre o desenvolvimento e a aprendizagem depende de fatores sociais, cognitivos e biológicos. As definições 3 e 4 descrevem, sucintamente, essas ideias.

Definição 3 (Aprendizagem 1) *Toda aprendizagem se dá a partir dos conhecimentos anteriores do indivíduo.*

Definição 4 (Aprendizagem 2) *A aprendizagem se dá pela ação do indivíduo em resposta às solicitações do ambiente.*

A Figura 4 ilustra esse relacionamento (desenvolvimento e a aprendizagem), bem como os fatores que os condicionam. Em síntese, Piaget acreditava que o conhecimento não nasce com o indivíduo, mas sim, é construído por cada um ao longo da vida, na interação com o ambiente e na busca constante em adaptar-se a ele. Nesse processo, forma estruturas que lhe proporciona a capacidade de aprender, através de experiências vividas anteriormente. Fatores sociais, cognitivos e biológicos permitem que haja essa interação entre o desenvolvimento e a aprendizagem do indivíduo.

A Figura 5 mostra o mapeamento das ideias oriundas da definição de aprendizagem. Quando solicitado pelo ambiente em que vive (através de objetos de conhecimento), o indivíduo revela seus conhecimentos anteriores que são modificados, configurando uma aprendizagem. Idealmente, esses conhecimentos se transformam em outros mais elaborados e mais complexos que os anteriores.

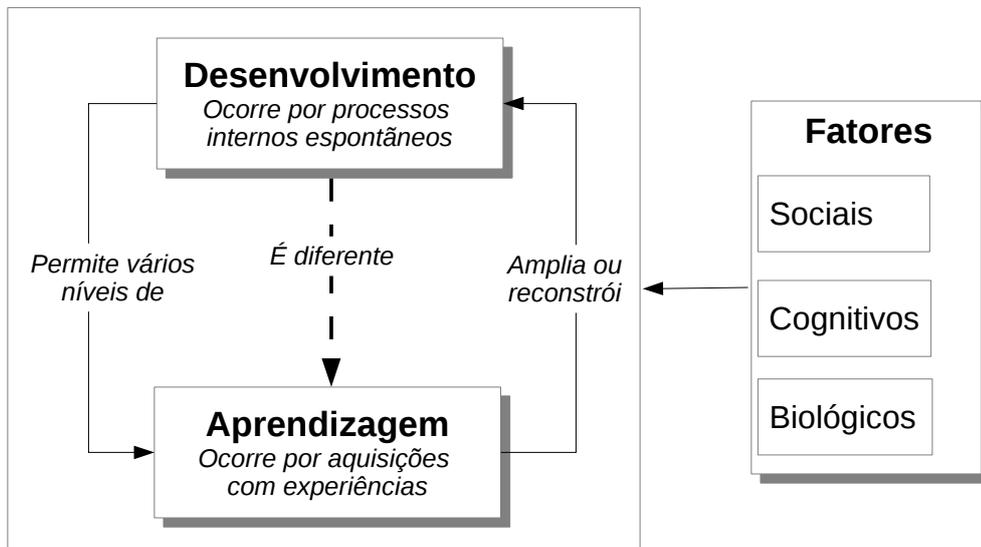


Figura 4: Relação entre desenvolvimento e aprendizagem pregada por Piaget.

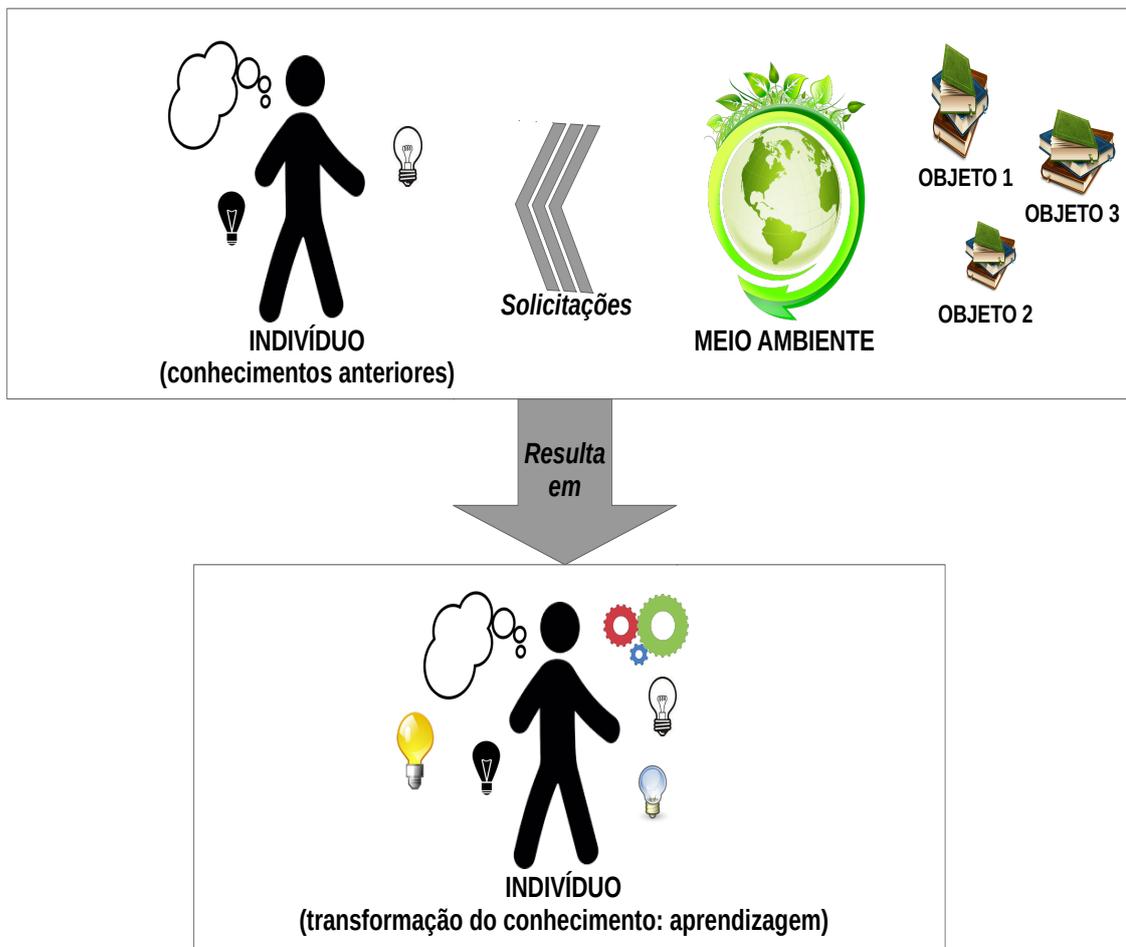


Figura 5: Mapeamento do significado de aprendizagem para Piaget.

3.2 Teoria da Epistemologia Genética

Partindo dos princípios entre desenvolvimento e aprendizagem, Piaget buscou analisar e descrever o desenvolvimento da criança, explicando os processos e as etapas da construção do conhecimento humano em uma teoria, chamada de Epistemologia Genética. Ele afirma que o propósito dessa teoria é descobrir a origem do conhecimento e entender sua evolução, desde as formas mais elementares até o pensamento científico mais elaborado (PIAGET, 1978).

Esse ambicioso projeto de descoberta levou Piaget a inaugurar, em 1955, na cidade de Genebra, o Centro Internacional de Epistemologia Genética, que reúne vários colaboradores de diversas áreas. As seções seguintes apresentam alguns conceitos que permeiam a referida teoria.

3.2.1 Equilibração entre Assimilação e Acomodação

Escrita na década de 50 e reformulada quase 20 anos depois, a Teoria da Equilibração busca explicar, de forma integrada à Epistemologia Genética, os mecanismos de desenvolvimento intelectual (ou cognitivo). Segundo Piaget, o desenvolvimento cognitivo se dá por interações entre o indivíduo e o objeto de conhecimento, através de processos denominados *Assimilação* e *Acomodação*.

- **Assimilação:** O termo Assimilação tem origem na biologia e significa transformar uma forma química externa ao corpo em elemento integrante deste organismo (KESSELRING, 2008). No campo da psicologia, Piaget defende que Assimilação consiste no processo de incorporar elementos do meio exterior às estruturas cognitivas já existentes (chamadas de esquemas), sempre que o indivíduo confronta-se com a realidade. Em outras palavras, o indivíduo tenta solucionar situações utilizando os esquemas que já possui e, quando isso não é possível, ele assimila, interpreta ou torna seu, alguns elementos do mundo (PIAGET, 1996).
- **Acomodação:** Quando diante de um objeto de conhecimento, os esquemas existentes podem ser inadequados ou insuficientes para incorporar os novos elementos. Sendo assim, o indivíduo procura novas formas de agir, tendo que modificar os esquemas anteriores em função dessa realização. Esse processo foi chamado por Piaget de Acomodação.

O psicólogo, portanto, pregou a necessidade da aplicação da Teoria da Equilibração, impondo que o indivíduo seja capaz de, cognitivamente, assimilar experiências e/ou acomodá-las, ficando assim em harmonia com seus conhecimentos. Nesses termos, entende-se que são válidos os seguintes conceitos: Assimilação é a incorporação de um conhecimento novo; Acomodação é a atualização de um conhecimento prévio.

Os esquemas gerados pela Assimilação, portanto, podem modificar os conhecimentos já existentes quando o indivíduo reconhece um erro e o corrige. Internamente, ocorre uma reorganização das estruturas cognitivas (esquemas). Em outras palavras, o conhecimento também pode se moldar às situações sempre que novos dados são incorporados. Se um indivíduo, por exemplo, não assimilasse um estímulo, ele tentaria fazer uma Acomodação dessa informação (conhecimento). Caso contrário, ele criaria um esquema novo em sua base de conhecimento. Esse processo é definido como Assimilação e, nesse momento, o equilíbrio entre a Assimilação e a Acomodação é alcançado.

Em um caso extremo, se o indivíduo somente assimilasse o estímulo (e não acomodasse), seriam desenvolvidos poucos esquemas cognitivos (PIAGET, 1972). Como esses esquemas seriam muito amplos, poderia comprometer a capacidade de diferenciação. Porém, se fosse o contrário e o indivíduo não assimilasse qualquer estímulo (somente acomodasse), os esquemas cognitivos desenvolvidos seriam bem pequenos e em grande número. Isso comprometeria este esquema de generalização de tal forma que a maioria das coisas seriam vistas sempre como diferentes, mesmo sendo muito similares. Piaget, portanto, eleceu algumas características desses dois processos:

- **Processos simultâneos:** a Assimilação não pode ser pura porque, quando incorpora os elementos novos nos esquemas anteriores, a inteligência modifica imediatamente estes últimos para adaptá-lo aos novos dados. Assim, a Assimilação e a Acomodação ocorrem de modo simultâneo.
- **Processos antagônicos:** a Assimilação e a Acomodação são ditos antagônicos, uma vez que a Acomodação é uma variação de comportamentos impostos pelo ambiente (devido à construção de novas estruturas cognitivas, com base nas pré-existentes), e a Assimilação é uma ação externa comandada pelo sujeito cognoscente¹ (devido à criação de estruturas cognitivas comuns).

¹O termo Sujeito Cognoscente diz respeito ao conceito empregado por Piaget às estruturas cognitivas comuns a todos os humanos, que lhes conferem a capacidade de aprender a partir do estabelecimento de relações. Também chamado de Sujeito Epistêmico ou Sujeito do Conhecimento.

Contudo, a Acomodação só é possível em função da Assimilação e, apesar desses processos ocorrerem de modo simultâneo e serem funções opostas, eles tendem a um estado de equilíbrio. Além disso, para ocorrer aprendizado é necessário que a inteligência seja confrontada, pois o espírito só é considerado em Equilibração quando nada nesta realidade modifica os esquemas do sujeito. O desequilíbrio impõe atitudes que faz com que o indivíduo busque uma melhor adaptação e se desenvolva, já que existe uma tendência interna de melhorar permanentemente as condições de equilíbrio, de acordo com Kesselring (2008).

A partir dessas ideias, é possível obter as definições 5, 6 e 7. Como mostra a Figura 6, ao interagir com o ambiente, o indivíduo assimila informações e experiências que serão incorporadas aos seus esquemas cognitivos. Porém, sempre que existe situações que configurem contradições ou discrepâncias em seu conhecimento atual, ou mesmo por motivações afetivas, esses esquemas mostram-se insuficientes, causando o desequilíbrio. Naturalmente, essas estruturas buscam adaptar-se acomodando as novas informações e assim, levando o indivíduo a um estado de equilíbrio superior.

Definição 5 (Assimilação) *A Assimilação ocorre quando o indivíduo adquire um conhecimento novo.*

Definição 6 (Acomodação) *A Acomodação ocorre quando o indivíduo altera seu conhecimento anterior.*

Definição 7 (Equilibração) *Deve haver o equilíbrio entre a Assimilação e a Acomodação de conhecimento.*

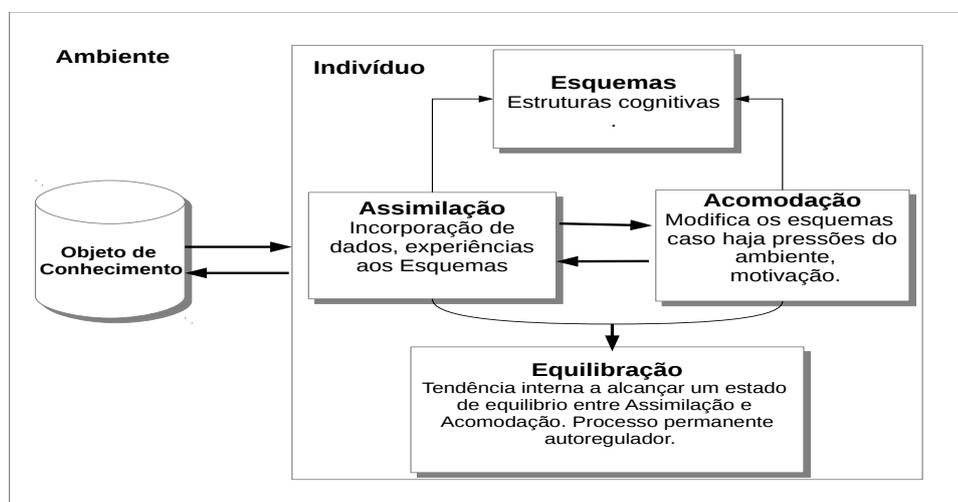


Figura 6: Ideias principais da Teoria da Equilibração de Piaget.

4 *Ideias de Piaget aplicadas a Sistemas Robóticos*

Através das ideias obtidas com as teorias de Piaget analisadas neste trabalho (Psicogenética Interacionista e da Epistemologia Genética), foram construídas algumas definições que são importantes para o contexto de sistemas multirrobo. Essas definições estão dispostas nas seções seguintes e, através delas, alguns formalismos foram construídos com a finalidade de tornar essas definições aplicáveis em robôs móveis.

Piaget defende, em sua teoria interacionista, que o conhecimento resulta da interação entre o indivíduo que deseja conhecer e o objeto de conhecimento. Assim, é a ação do indivíduo sobre o objeto e a necessidade de adaptar-se ao ambiente que o leva a conhecer. Um robô, também, interage com outros e com objetos em um dado ambiente, podendo ocorrer troca de informações que produzem ou atualizam um conhecimento. A Figura 7 esquematiza o mapeamento da teoria interacionista em robôs, onde o conhecimento assume a forma de um banco de dados ou de antologias.

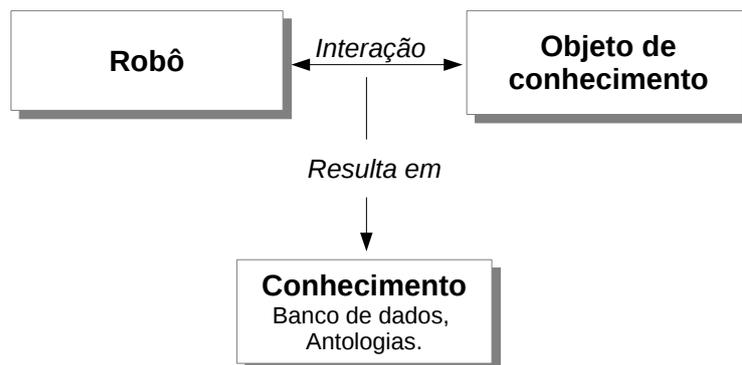


Figura 7: Mapeamento da Teoria interacionista em robôs.

4.1 Conhecimento

Formalmente, é possível considerar que o conhecimento se dá em função do relacionamento entre um robô e um objeto do ambiente. Essa ideia está retratada na Definição 1. Já a Definição 2 afirma que o conhecimento é oriundo de uma interação do indivíduo com o ambiente, levando em consideração seu processo biológico. Sendo assim, ao interagir com o ambiente para obter conhecimento de um objeto específico, o robô responde àquela solicitação com uma resposta simples, que indica que ele conhece ou não (o objeto).

Definição 1 (Conhecimento 1) *O conhecimento é construído com a interação entre o indivíduo que busca conhecer e o objeto a ser conhecido.*

Definição 2 (Conhecimento 2) *O conhecimento é gerado pelo indivíduo por um processo biológico, quando ele interage com o ambiente em que vive.*

Dentro dessa perspectiva, as equações (4.1), (4.2), (4.3) e (4.4) retratam essas duas definições, considerando que os elementos que envolvem o robô, o objeto e os conhecimentos básicos estão definidos por: robô atuante no ambiente (r_i); objeto a ser conhecido (o_j); função de conhecimento (f_con); conjunto de conhecimento do robô r_i , dado por $\{c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ik}\}$; e, por fim, o conjunto de conhecimento necessário ao objeto o_j , dado por $\{c_{o1}, c_{o2}, \dots, c_{ok}\}$.

A Equação (4.1) define que a função de conhecimento é uma relação entre o robô o objeto; A Equação (4.2) informa que a resposta do robô, quando solicitado por um objeto do ambiente, é *Sim* (1), caso ele conheça o objeto, ou *Não* (0), caso ele não conheça. As equações (4.3) e (4.3) representam o conjunto de conhecimento requerido pelo objeto e o conjunto total de conhecimento do robô, respectivamente.

$$f_con \leftarrow r_i \leftrightarrow o_j \quad (4.1)$$

$$f_con(r_i, o_j) = \begin{cases} 1, & \text{se } r_i \text{ conhece } o_j \\ 0, & \text{se } r_i \text{ desconhece } o_j \end{cases} \quad (4.2)$$

$$f_con(o_j) = \{c_{o1}, c_{o2}, \dots, c_{ok}\} \quad (4.3)$$

$$f_con(r_i) = \{c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ik}\} \quad (4.4)$$

4.2 Aprendizagem

A aprendizagem só pode ser observada caso o indivíduo, em determinado momento, detenha mais conhecimento do que em um momento anterior. Isto permite perceber que toda aprendizagem é obtida em função do conhecimento anterior, quando há uma solicitação do ambiente (através do objeto). As definições 3 e 4 afirmam essas ideias, permitindo o mapeamento para robôs móveis.

Definição 3 (Aprendizagem 1) *Toda aprendizagem se dá a partir dos conhecimentos anteriores do indivíduo.*

Definição 4 (Aprendizagem 2) *A aprendizagem se dá pela ação do indivíduo em resposta às solicitações do ambiente.*

A partir dessas definições, é possível mapear situações em que essas ideias sejam igualmente verdadeiras em sistemas multirrobôs. Sendo assim, considera-se que a aprendizagem robótica se dá a partir dos conhecimentos já ativos na base de dados de cada robô, e conseqüentemente, essa operação (aprendizagem) só é permitida em virtude da resposta que o robô dá ao ambiente, quando diante de uma solicitação.

Construindo as formalizações para essas premissas, as equações (4.5) e (4.6) expõem formalmente essas duas definições, considerando que as representações que envolvem o robô, o objeto, os conhecimentos básicos e a aprendizagem estão definidos por: robô atuante no ambiente (r_i); objeto que realiza a solicitação de conhecimento (o_j); função de conhecimento (f_{con}); e função de aprendizagem (f_{apr});

A Equação (4.5) define que a função de aprendizagem é uma relação direta com a função de conhecimento do robô que atua no ambiente. Além disso, essa função também pode ser obtida como uma relação do conhecimento do robô sobre o objeto, sabendo que esse objeto atua como solicitante do ambiente. Essa definição está exposta na Equação (4.6).

$$f_{apr}(r_i) \leftarrow f_{con}(r_i) \quad (4.5)$$

$$f_{apr}(r_i) \leftarrow f_{con}(r_i, o_j) \quad (4.6)$$

4.3 Equilibração

Indivíduos reais, segundo Piaget, aprendem por meio da interação com o ambiente. A partir do agir do indivíduo o ambiente responde de maneira tal que essas novas experiências podem modificar o modo de agir deste a partir de então.

Conforme visto anteriormente, a Assimilação é a incorporação de conhecimento novo sobre um determinado objeto. Já a Acomodação é a atualização (ou alteração, substituição) de conhecimentos atuais por outros conhecimentos, desde que estes sejam mais eficientes, ou tragam algum tipo de benefício.

Da mesma maneira, pode um agente robótico, ao interagir com outros, tomar para si informações que, ao incorporá-las ao seu banco de dados, provoquem um aprendizado modificando os seu esquemas anteriores, como é demonstrado na Figura 8. Porém, nem todo novo dado assimilado deve ser acomodado, visto que isso provocaria uma inconsistência no agir do robô. Para que isso não ocorra critérios devem ser estabelecidos de acordo com os objetivos pretendidos.

Em outras palavras, em se tratando de robôs, a Assimilação é a aquisição de novos conteúdos em sua base de dados. A Acomodação, por sua vez, é a substituição de um conteúdo antigo da base de dados. Contudo, esses dois processos devem ocorrer de maneira equilibrada. Nesse caso, as definições 5, 6 e 7 informam as principais ideias relacionadas à Assimilação, Acomodação e à Equilibração, respectivamente.

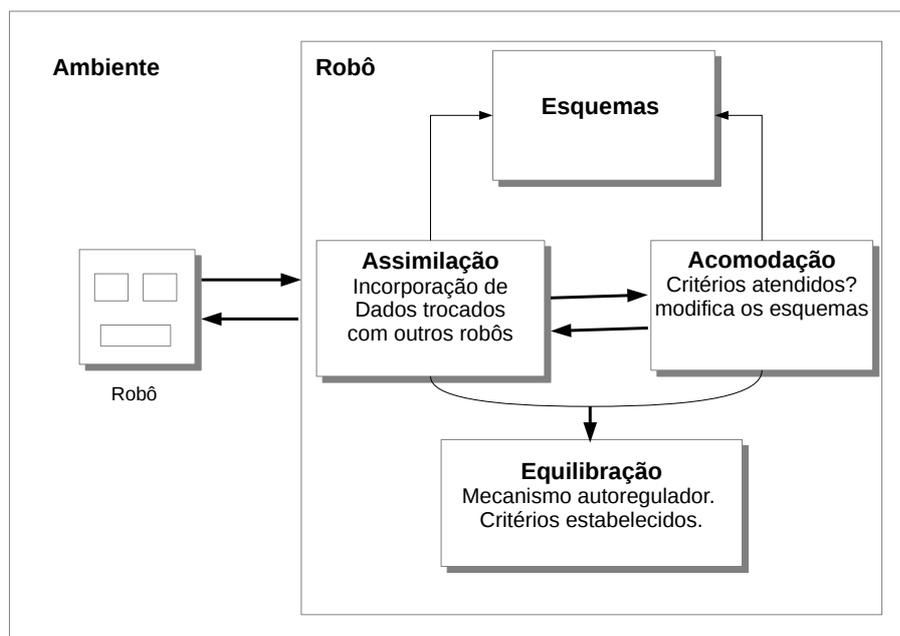


Figura 8: Mapeamento da Teoria da Equilibração em robôs

Definição 5 (Assimilação) *A Assimilação ocorre quando o indivíduo adquire um conhecimento novo.*

Definição 6 (Acomodação) *A Acomodação ocorre quando o indivíduo altera seu conhecimento anterior.*

Definição 7 (Equilibração) *Deve haver um equilíbrio entre a Assimilação e a Acomodação de conhecimento.*

Sendo assim, trazendo os conceitos de Assimilação e Acomodação para o contexto de um grupo de robôs móveis em cooperação, é possível descrever a Assimilação de acordo com as equações (4.7) e (4.8), e a Acomodação de acordo com a Equação (4.9), em que i e $j \in \mathbb{N}$.

A Equação (4.7) informa como se dá a Assimilação de um conjunto de conhecimento $\{c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ik}\}$ pelo robô r_i . O resultado é a junção desse conjunto de conhecimento com a base de dados atual do robô, o que caracteriza, com isso, a incorporação de conteúdos novos.

A Equação (4.8) trata da Assimilação do conhecimento que envolve o objeto o_j pelo robô r_i . Como resultado, tem-se a inserção de todo conhecimento que é requerido pelo objeto na base de dados do robô. Dessa forma, o robô tem a capacidade de incorporar o conteúdo relacionado ao conhecimento do objeto em questão.

Por fim, a Equação (4.9) expõe a forma como a Acomodação se dá no robô r_i . Nesse caso, ele precisa de dois outros parâmetros: o conjunto de conhecimentos anteriores (dado por $\{c_{i1}, \dots, c_{ik}\}$) e o conjunto de conhecimentos novos (dado por $\{c_1, \dots, c_k\}$). Como resultado, obtém-se a substituição do primeiro conjunto por este, caracterizando um atualização na base de dados.

$$f_{-ass}(r_i, \{c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ik}\}) = f_{-con}(r_i) \cup \{c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ik}\} \quad (4.7)$$

$$f_{-ass}(r_i, o_j) = f_{-con}(r_i) \cup f_{-con}(o_j) \quad (4.8)$$

$$f_{-aco}(r_i, \{c_{i1}, \dots, c_{ik}\}, \{c_1, \dots, c_k\}) = (f_{-con}(r_i) - \{c_{i1}, \dots, c_{ik}\}) \cup \{c_1, \dots, c_k\} \quad (4.9)$$

4.4 Inteligência

Na concepção piagetiana, a inteligência utiliza mecanismos operativos (ações coordenadas apoiadas em estruturas de conjuntos) para realizar uma adaptação biológica. Isto é, as estruturas da inteligência são produto de uma construção do indivíduo em interação com o meio ao longo da vida e a maturação biológica esta na origem da construção dessas estruturas.

Em robôs, por outro lado, o que dá suporte as estruturas da inteligência (artificial) são modelos de *hardwares* projetados para esse fim. O desenvolvimento da inteligência, em um dado agente robótico, ocorre por meio da atualização de *software* e da autonomia dada a ele em sua programação original, conforme a Figura 9.

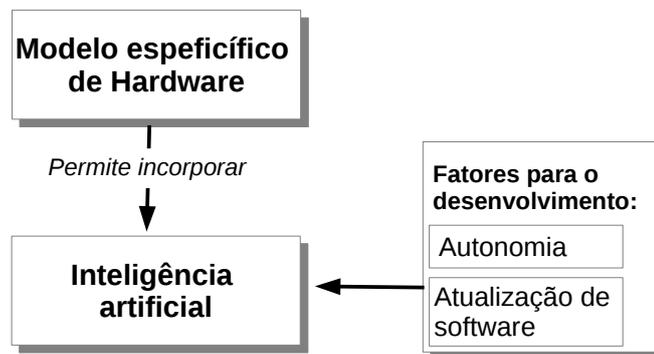


Figura 9: Mapeamento da inteligência em robôs móveis.

5 *Experimentos e Resultados*

Considerando ser possível aplicar, em agente robóticos, a ideia de Assimilação definida por Piaget, foi implementado um ambiente multirrobo simulado para analisar o ganho de conhecimento dos robôs ao interagir uns com os outros, trocando informações por meio de procedimentos de Assimilação.

Inicialmente, em um determinado tempo, é apresentada uma missão M ao ambiente, composto por um grupo de robôs R . M é uma lista de objetos O que deve ser reconhecida, similar à lista de tarefas que deve ser executada em (BARBOSA; MAIA; SOUZA, 2012). Imediatamente, o ambiente verifica quais os robôs do grupo que estão disponíveis e, a partir disso, os objetos são designados aos devidos agentes para reconhecimento.

O objetivo do sistema é alcançado ao resolver a missão de tal maneira que todos os objetos sejam reconhecidos. Porém, para que um objeto seja reconhecido, é necessário que pelo menos um robô possua, simultaneamente, os conhecimentos básicos e as características físicas necessárias e exigidas pelo objeto em questão. Desse modo, os conjuntos de conhecimentos básicos e os de características físicas de cada objeto são comparados com os respectivos conjuntos dos robôs. Aquele que for completamente apto irá responder ao ambiente que reconhece o objeto.

O problema da execução de uma missão por um grupo de robôs heterogêneos, visando maximizar o conhecimento de cada robô do ambiente e minimizar o tempo de execução dessa missão, se assemelha parcialmente com alguns problemas de otimização relatados na Literatura, como o *Job Shop Scheduling* (YAMADA; NAKANO, 1997) e o Problema dos K-Servos (DEPT, 1988). Porém, nenhum deles descreve fielmente as características do problema alvo desse trabalho (BARBOSA; MAIA; SOUZA, 2012).

5.1 Ambiente simulado para experimentos

O ambiente criado para a simulação dos experimentos foi configurado com três parâmetros principais: os robôs, os objetos e os conhecimentos básicos. Esses três conjuntos são os parâmetros utilizados na implementação, como detalhado na Tabela 1:

1. **Conjunto de robôs R :** é composto por 10 agentes heterogêneos ($r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$ e r_{10});
2. **Conjunto de objetos O :** esse conjunto especifica a missão M e é composto por 8 elementos ($o_1, o_2, o_3, o_4, o_5, o_6, o_7$ e o_8);
3. **Conjunto de conhecimento do ambiente C :** é composto por 10 conhecimentos básicos ($c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9$ e c_{10}).

Cada robô está configurado com um conjunto específico de conhecimentos básicos e, similarmente, cada objeto está relacionado a seus respectivos conhecimentos que os caracterizam, de acordo com a Tabela 2. Os robôs, inclusive, podem ser configurados sem qualquer conhecimento básico, como é o caso de r_4 .

Descrição	Quantidade	Conjunto
Robôs no ambiente	$n_r = 10$	$R = \{r_1, r_2, \dots, r_{10}\}$
Objetos a serem conhecidos	$n_o = 8$	$O = \{o_1, o_2, \dots, o_8\}$
Itens de conhecimento	$n_c = 10$	$C = \{c_1, c_2, \dots, c_{10}\}$

Tabela 1: Quadro dos parâmetros utilizados na implementação.

Robô	Objetos	Conhecimento
$r_1 = \{c_1, c_4\}$	$o_1 = \{c_2, c_3, c_6\}$	c_1
$r_2 = \{c_2, c_5, c_6\}$	$o_2 = \{c_3, c_4, c_6, c_8\}$	c_2
$r_3 = \{c_1, c_2, c_7\}$	$o_3 = \{c_9, c_{10}, c_8\}$	c_3
$r_4 = \{\}$	$o_4 = \{c_1, c_{10}, c_7\}$	c_4
$r_5 = \{c_7, c_9, c_{10}\}$	$o_5 = \{c_2, c_5, c_{10}\}$	c_5
$r_6 = \{c_6, c_8, c_{10}\}$	$o_6 = \{c_1, c_3\}$	c_6
$r_7 = \{c_3\}$	$o_7 = \{c_7, c_8, c_9\}$	c_7
$r_8 = \{c_3, c_6\}$	$o_8 = \{c_1, c_{10}\}$	c_8
$r_9 = \{c_8\}$		c_9
$r_{10} = \{c_2, c_5, c_6\}$		c_{10}

Tabela 2: Exemplo de uma instância utilizada nos experimentos.

5.2 Algoritmo desenvolvido para a simulação

O objetivo do sistema simulado é agir de tal forma que os robôs R possam reconhecer a lista de objetos O que compõem a missão M do ambiente. O objetivo específico ao robô, escolhido aleatoriamente, é de reconhecer os objetos individualmente. Porém, como nem sempre o robô tem todo o conhecimento necessário para reconhecer o objeto corrente, ele solicita uma busca no ambiente para identificar outros agentes que possuam o conhecimento. Caso essa busca tenha um resultado positivo, o conhecimento sobre o objeto é compartilhado e o robô pode admiti-lo através da Assimilação.

Sendo assim, após esse processo, os novos conhecimentos passam a compor a base de dados do robô que solicitou a busca. Essa é a ideia principal da metodologia que está implementada. O fluxo de procedimentos está definido conforme a Figura 10.

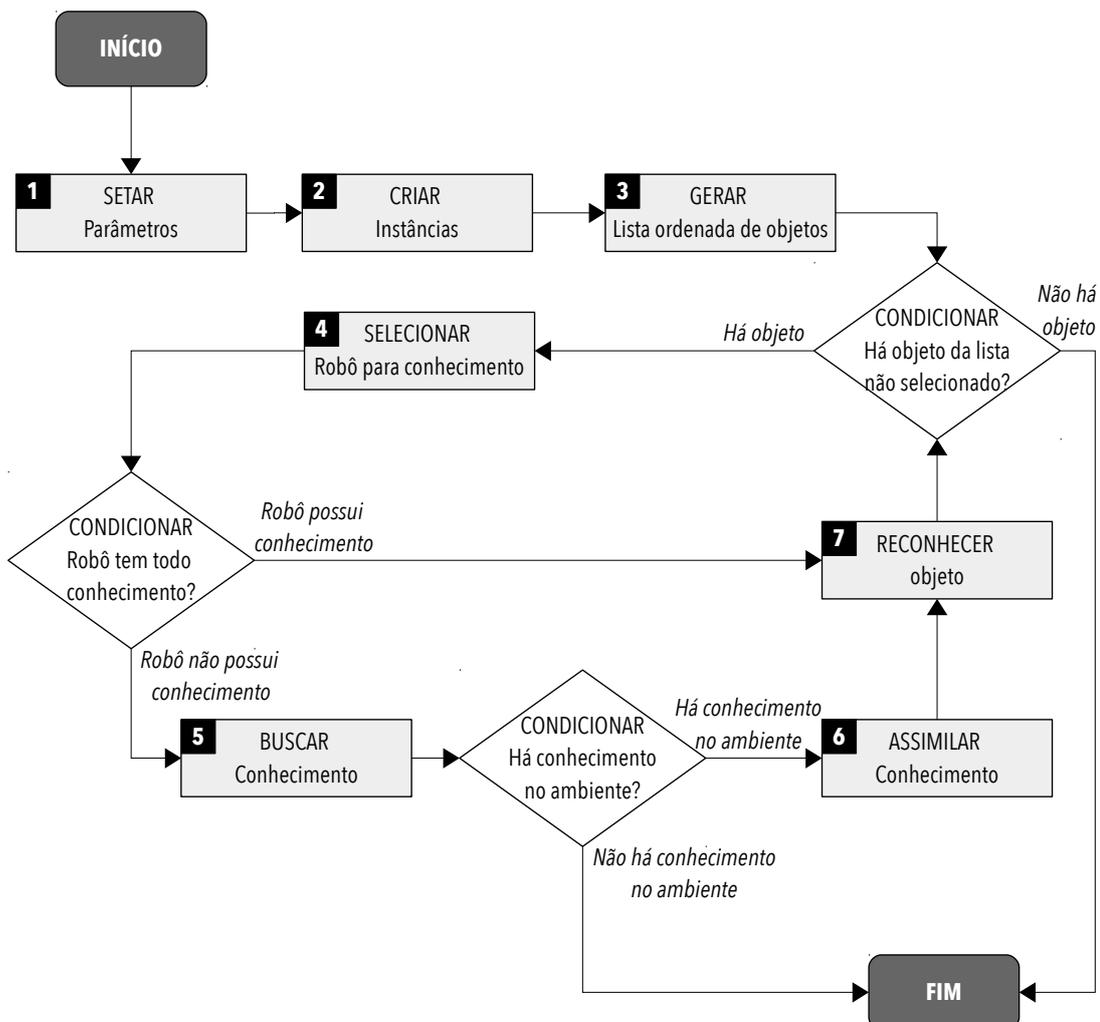


Figura 10: Fluxograma dos principais procedimentos implementados para a cooperação robótica, considerando o processo de Assimilação de Piaget.

No fluxograma é possível ver que a execução é realizada seguindo 7 passos: *Setar Parâmetros*, *Criar Instâncias*, *Gerar Lista ordenada de objetos*, *Selecionar Robô para conhecimento*, *Buscar Conhecimento*, *Assimilar Conhecimento* e, por fim, *Reconhecer Objeto*.

1. **Setar Parâmetros:** primeiro procedimento do algoritmo. É responsável por informar os parâmetros primordiais (robôs R , objetos O e conhecimentos C).
2. **Criar Instâncias:** procedimento que cria as instâncias para o experimento. Nesse momento, são informados os conhecimentos básicos de cada robô r_i e os conhecimentos necessários para objeto o_j , onde i e j indicam um elemento unitário do conjunto de robôs R e de objetos O , respectivamente.
3. **Gerar Lista ordenada de objetos:** assim que as instâncias são criadas, é necessário construir uma Lista Ordenada de objetos, chamada LO . Essa lista é criada escolhendo-se aleatoriamente os objetos do conjunto O , e ela deve solicitar resposta ao ambiente levando em consideração a ordem que os objetos estão dispostos. Nos testes realizados, a lista está composta por 3 objetos.
4. **Selecionar Robô para conhecimento:** nesse momento, para cada objeto o_k , pertencente a LO , é selecionado um robô r_i para seu reconhecimento. Nos experimentos, portanto, são selecionados 3 robôs por ciclo de execução.
5. **Reconhecer Objeto:** esse procedimento verifica se o robô r_i , escolhido no passo anterior, possui todo conhecimento necessário para reconhecer o objeto o_k , corrente de LO . A resposta desse procedimento é “*Sim*”, para o caso de r_i ter todo conhecimento necessário para reconhecer o_k , ou “*Não*” caso contrário.
6. **Buscar Conhecimento:** caso o procedimento anterior resulte “*Não*”, esse procedimento é responsável por realizar uma busca pelo conhecimento necessário do objeto o_k , dentre os robôs do ambiente. A resposta desse procedimento é um robô r_x que possui todo conhecimento necessário para o_j , ou “*Não*”, caso não haja robô no ambiente que possua todo conhecimento avaliado.
7. **Assimilar Conhecimento:** caso o passo anterior resulte em um robô r_x que possui todo conhecimento necessário a o_k , esse procedimento realiza o processo de Assimilação. Nesse caso, é atribuído, ao robô r_i , o conhecimento sobre o objeto o_k que este não possuía e que r_x possui. Nesse caso, caracteriza um ganho de conhecimento por parte do robô r_i .

5.2.1 Pseudocódigo implementado

O código foi implementado em linguagem JAVA de acordo com o pseudocódigo apresentado na Figura 11, em que são definidos um conjunto de objetos e um grupo de robôs com seus respectivos conhecimentos básicos do ambiente (linha 1). Randomicamente, três objetos são selecionados (linha 3) e apresentados a três robôs escolhidos aleatoriamente (linha 5), garantindo que um robô não seja escolhido mais de uma vez. Em seguida é verificado se o robô possui todo o conhecimento necessário sobre o objeto (linha 6). Caso contrário, uma busca por robôs do ambiente que contenha o conhecimento requerido é realizada (linha 9). Sendo localizado o conhecimento requerido, uma função de Assimilação atribui ao robô as novas informações sobre o objeto em questão (linha 10).

Um exemplo de saída do algoritmo é apresentado na Tabela 3. Nesses resultados, o robô r_1 precisou assimilar os conhecimentos c_3 , c_6 e c_8 de r_6 e r_9 para reconhecer o objeto o_2 ; r_{10} assimilou c_3 de r_7 para reconhecer o_1 ; e r_5 , para reconhecer o_7 , precisou assimilar c_8 de r_6 .

```

Assimilacao();
1 carregar_instancias(objetos, robos)
2 inicio
3    $o_i = \text{randon}(\text{objetos});$ 
4   enquanto  $o_i \leq 3$  faça
5      $r_j = \text{randon}(\text{robos});$ 
6     se conhecimento ( $o_i$ )  $\in$  conhecimento ( $r_j$ ) então
7       retorne "Robo conhece o objeto";
8     senão
9       conhecimentoRequerido = buscar_conhecimento( $o_i, \text{robos}$ );
10      resultado = Assimila( $r_j, \text{conhecimentoRequerido}$ );
11      retorne resultado;
12    fim_se
13  fim_enquanto
14 fim

```

Figura 11: Pseudocódigo implementado para a cooperação robótica, visando o ganho de conhecimento através do processo de Assimilação, pregado por Piaget.

Objeto	Antes	Ajudante	Após	Ganho
$o_2 = \{c_3, c_4, c_6, c_8\}$	$r_1 = \{c_1, c_4\}$	r_6 e r_9	$r_1 = \{c_1, c_4, [c_6], [c_8], [c_3]\}$	3
$o_1 = \{c_2, c_3, c_6\}$	$r_{10} = \{c_2, c_5, c_6\}$	r_7	$r_{10} = \{c_2, c_5, c_6, [c_3]\}$	1
$o_7 = \{c_7, c_8, c_9\}$	$r_5 = \{c_7, c_9, c_{10}\}$	r_6	$r_5 = \{c_7, c_9, c_{10}, [c_8]\}$	1

Tabela 3: Exemplo de saída do pseudocódigo implementado.

5.3 Experimentos realizados

Como dito anteriormente, o objetivo é localizar robôs capazes de reconhecer os objetos, a partir dos conhecimentos básicos contidos no ambiente multirrobô. As ideias de Jean Piaget, em especial os conceitos abordados na Teoria da Equilibração (mais especificamente, o processo de Assimilação), permite direcionar o compartilhamento de conhecimentos entre os agentes. Sem esses conceitos de interação (e direcionamento) com o ambiente e com outros agentes, não seria possível, em muitos casos, o reconhecimento dos objetos pelos robôs, sem que estes fossem configurados inicialmente com grande quantidade de informação. Somente dessa forma, o ambiente poderia ter sucesso no reconhecimento, ou seja, substituindo a interação dos agentes envolvidos pelo aumento considerável da base de dados de cada robô individualmente.

Segundo os resultados dos experimentos utilizando a concepção Piaget de Assimilação, é possível perceber que houve um ganho de conhecimentos entre os robôs de, aproximadamente, 98%, resultante da comparação da quantidade de conhecimento antes e depois da execução (apresentados na Tabela 4). Importa esclarecer que as médias de ganho de conhecimento foram obtidas a partir da análise dos dados obtidos em 100 execuções e que não houve casos em que não foi possível reconhecer o objeto. Sendo assim, houve 100% de sucesso nas execuções das missões.

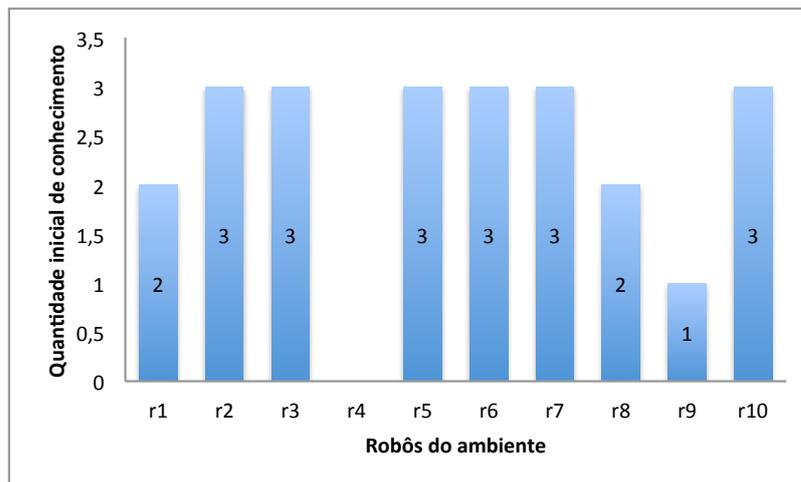
Robô	Valor Inicial	Média Final	Ganho Médio
r_1	2	4,5	2,5
r_2	3	5,1	2,1
r_3	3	5,0	2,0
r_4	0	2,7	2,7
r_5	3	4,8	1,8
r_6	3	5,0	2,0
r_7	3	5,4	2,4
r_8	2	4,1	2,1
r_9	1	3,5	2,5
r_{10}	3	5,5	2,5
Total	23	45,6	22,6

Tabela 4: Quadro demonstrativo da média do ganho de conhecimento dos robôs, obtido após 100 execuções.

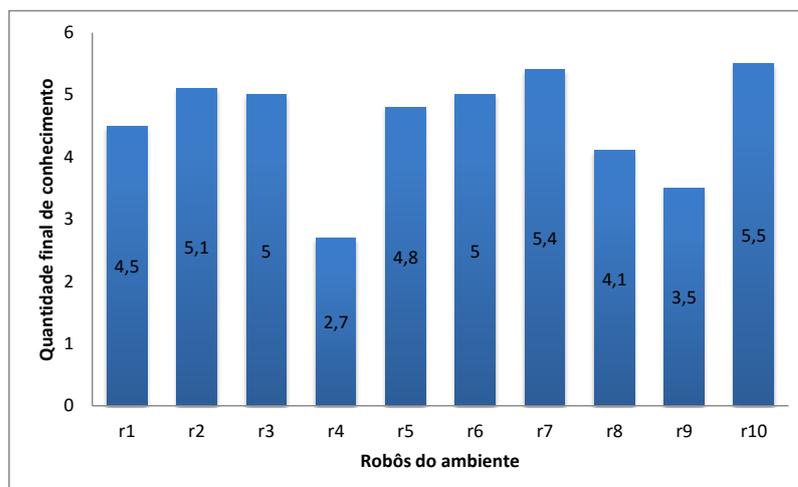
5.4 Análise dos Resultados do processo de Assimilação Piagetiana na cooperação robótica

Inicialmente, foram realizados experimentos sobre um ambiente simulado, com a configuração inicial de conhecimento conforme informado no gráfico da Figura 12(a). Nesse caso, dos 10 robôs disponíveis, há um total de 23 conhecimentos básicos distribuídos entre eles. Observe que o robô r_4 não possui conhecimento.

Após as 100 execuções, foram obtidas as médias dos conhecimentos adquiridos com as ideias implementadas. Dessa forma, foi identificado uma configuração final de conhecimento adquirido em cada robô individualmente, conforme mostra o gráfico da Figura 12(b). Esse gráfico representa os dados **Média Final** da Tabela 4.



(a) Configuracão inicial.



(b) Configuracão final.

Figura 12: Configuracões da quantidade de conhecimentos distribuídos no ambiente, antes e após as execuções dos experimentos com a Assimilação Piagetiana.

Após todas as execuções, foi verificado que 100% das missões foram solucionadas. Isto quer dizer que, para todas as execuções dos experimentos com a Assimilação Piagetiana, todos os objetos foram reconhecidos e, o ambiente adquiriu conhecimento ao longo das interações dos agentes robóticos.

O gráfico exposto na Figura 13 mostra a média do percentual de ganho de conhecimento, com a aplicação do processo Piagetiano de Assimilação. A Tabela 5 informa exatamente esses valores expostos (**Ganho Percentual**).

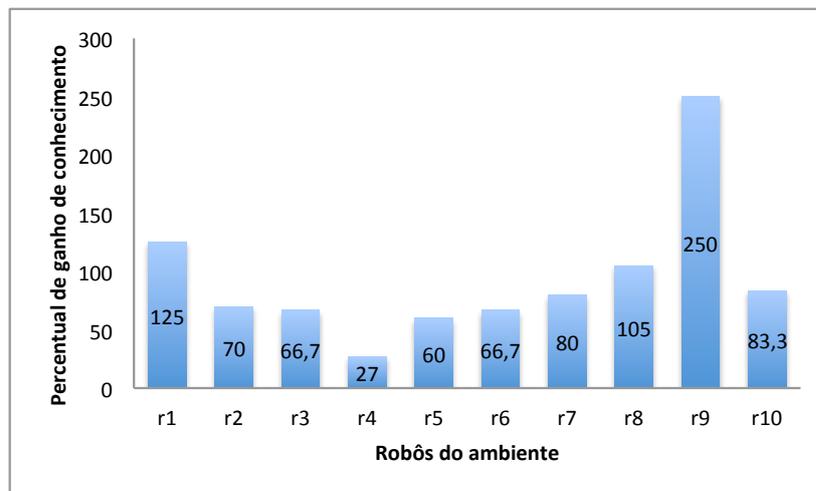


Figura 13: Percentual de ganho de conhecimento dos robôs, após as execuções dos experimentos com a Assimilação Piagetiana.

Robô	Ganho Médio	Ganho Percentual
r_1	2,5	125,0%
r_2	2,1	70,0%
r_3	2,0	66,7%
r_4	2,7	27,0%
r_5	1,8	60,0%
r_6	2,0	66,7%
r_7	2,4	80,0%
r_8	2,1	105,0%
r_9	2,5	250,0%
r_{10}	2,5	83,3%

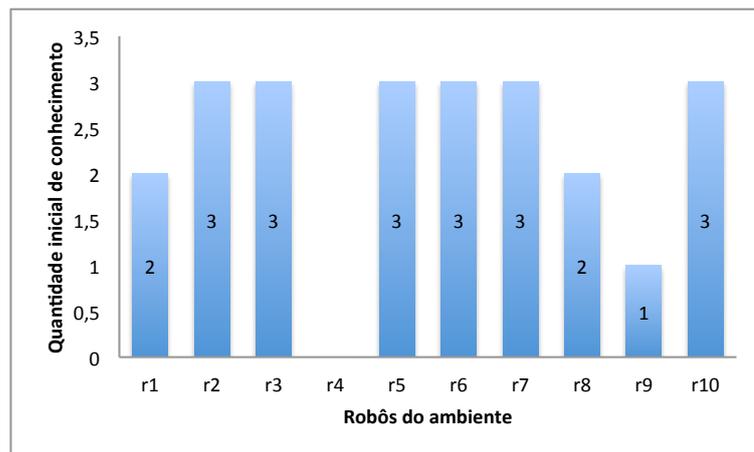
Tabela 5: Quadro demonstrativo do percentual (em média) do ganho de conhecimento dos robôs, após as 100 execuções dos experimentos com a Assimilação Piagetiana.

5.4.1 Análise dos Resultados sem a Assimilação Piagetiana

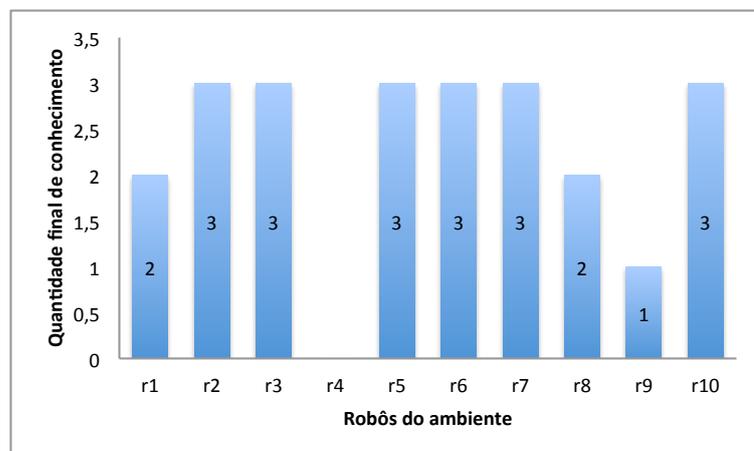
Realizando testes do ambiente simulado sem o processo de Assimilação, os resultados são obtidos exatamente conforme a configuração inicial. Não há evolução de conhecimento do ambiente e, ainda, 100% das missões não foram solucionadas.

Uma conclusão possível de se obter é que, para que as missões sejam solucionadas, se faz necessário que: os objetos sejam muito simples (requerem pouquíssimos conhecimentos básicos para seu reconhecimento) e/ou os robôs, individualmente, sejam muito robustos (detenham quase todos, ou todos, os conhecimentos básicos do ambiente).

Nesse caso, a operacionalização é inviabilizada quando se trata de utilizar poucos robôs (e robôs menos robustos) e com o mínimo de conhecimento básico implementado inicialmente. O gráfico da Figura 14(a) mostra a configuração inicial dos experimentos, que não foi alterada após todas as execuções (Figura 14(b)).



(a) Configuracão inicial.



(b) Configuracão final.

Figura 14: Configuracões da quantidade de conhecimentos distribuídos no ambiente, antes e após as execuções dos experimentos sem a Assimilação Piagetiana.

6 *Conclusões*

A pesquisa desenvolvida no presente trabalho foi apoiada em algumas das principais teorias do biólogo Jean William Fritz Piaget, como a Psicogenética Interacionista e a Epistemologia Genética. Buscou-se realizar um mapeamento conceitual das principais teorias de Jean Piaget (de indivíduos) em agentes robóticos, considerando o contexto de cooperação em sistemas.

Também foi realizada uma simulação de um ambiente multirrobô, partindo do mapeamento do conceito de Assimilação, onde é analisada a troca de conhecimento entre os agentes sem qualquer manipulação externa e com o mecanismo simples de troca de mensagens.

Através do estudo realizado no presente trabalho, embora essa seja uma alternativa inicial para a aprendizagem de robôs, conclui-se ser bastante vantajoso mapear (e implementar) ideias oriundas das teorias de Piaget em agente robóticos, em contextos específico e semelhantes ao usado nos experimentos: reconhecimento de objetos.

Os experimentos realizados, através de simulação de ambiente cooperativo de robôs com troca de conhecimento, resultou em um importante ganho de conhecimento no ambiente, quando comparado aos experimentos sem a aplicação das ideias de Piaget. Analisando ainda os resultados, é possível concluir que a utilização do mapeamento de conceitos (desenvolvidos para indivíduos) em agente robóticos é possível e demonstra eficiência. Além disso, a aplicação do processo de Assimilação mostrou-se favorável, permitindo a troca de conhecimentos entre os agentes robóticos e constatando-se o efetivo ganho de conhecimento do ambiente.

Sabe-se que essas análises foram realizadas considerando um ambiente simulado de robôs, cujo objetivo global era o conhecimento de todos os objetos listados em uma dada missão. No entanto, é importante ressaltar que não foram realizados experimentos avaliativos sobre a cooperação do grupo de robôs apenas com o intuito de realizar a tarefa (sem a possibilidade de trocar dados, ou conhecimento, sobre a mesma). Foram observadas,

exclusivamente, as situações em que as trocas de mensagens eram imprescindíveis entre cada agente robótico .

Em adição, além de Assimilar (adquirir conhecimento), também é necessário saber utilizar o conhecimento e verificar sua validade. Assim, vê-se a necessidade de implementação do processo de Acomodação, outro importante conceito de Piaget. Esse processo deve agir em conjunto com a Assimilação, complementando o conceito da Teoria da Equilíbrio, conforme mapeamento demonstrado na Figura 8. Dessa forma, permitiria a validação e atualização do conhecimento existente na base de dados de cada robô. No entanto, seria necessário uma série de questionamentos avaliativos em termos da validação e da melhoria de cada conhecimento básico do ambiente, tornando a proposta bastante complexa.

6.1 **Trabalhos Futuros**

Esse trabalho permite identificar alguns temas para trabalhos futuros. São eles:

1. A continuação da implementação da simulação com a inserção do procedimento de Acomodação. Para isso, algumas análises devem ser realizadas, como, por exemplo, a necessidade de validação de um conhecimento básico como mais eficiente (ou mais válido) do que outro.
2. O mapeamento de outras teorias de Jean Piaget, como a de Grupos e Redes, onde ele tenta definir conceitos de aprendizagem a partir de linguagem matemática. Após isso, identificar possibilidades formais de aplicação em cooperação de robôs.
3. Aplicar as regras do processo de Assimilação, definidas nesse trabalho, em um sistema multirrobô real e heterogêneo, com o intuito de validar essas regras considerando, também, as características físicas de cada robô.
4. Analisar as trocas de mensagens em ambientes em que os robôs podem cooperar apenas com o intuito de resolver a missão, sem trocar dados (ou conhecimento) a respeito da tarefa específica a ser resolvida. Será valioso ter resultados em termos de execução da missão completa, do tempo de execução da missão e do tempo.

Referências

- AKIN, D. L. Science planning for the ranger telerobotic shuttle experiment. *International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space iSAIRAS*, 2001.
- APOSTOLOPOULOS, D. et al. Technology and field demonstration results in the robotic search for antarctic meteorites. *International Journal of Robotics Research*, 2000.
- ARGUENON, V. et al. Multi-agent based prototyping of agriculture robots. In: *Proceedings of the International Symposium on Collaborative Technologies and Systems*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006. (CTS '06), p. 282–288. ISBN 0-9785699-0-3.
- ARKIN, R. C.; BALCH, T. Cooperative multiagent robotic systems. In: *Artificial Intelligence and Mobile Robots*. [S.l.]: MIT/AAAI Press, 1998.
- ARQUILLA, J.; BUELL, D. A. The dangers of military robots, the risks of online voting. *Commun. ACM*, ACM, New York, NY, USA, v. 58, n. 7, p. 12–13, jun. 2015. ISSN 0001-0782.
- BARBOSA, D. R. F.; MAIA, R. S.; SOUZA, A. A. S. Heurística para gerenciar a cooperação de um grupo de robôs em execução de tarefas. *Holos*, v. 1, p. 172–181, 2012.
- BOTELHO, S.; ALAMI, R. Robots that cooperatively enhance their plans. *Proceeding of 5th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems DARS2000, Lecture notes in Computer Science, Springer Verlag*, 2000.
- CAO, Y. U.; FUKUNAGA, A. S.; KAHNG, A. B. Cooperativemobile robotics: Antecedents and directions. *Autonomous Robots* 4, p. 1–23, 1997.
- CONCEICAO, A. G. S. Controlo e cooperação de robôs móveis autónomos omnidireccionais. *Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores*, 2007.
- DARWIN, C. *The origin of species*. [S.l.]: John Murry, 1929.
- DEPT, C. S. Competitive algorithms for server problems. *Carnegie Mellon University, Computer Science Dept.*, 1988.
- DIFTLER, M. A.; AMBROSE, R. O. Robonaut: A robotic astronaut assistant. *International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space iSAIRAS*, 2001.
- DUDEK, G.; JENKIN, M. *Computational Principles of Mobile Robotics*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0-521-56876-5.

- FERBER, J. *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. 1st. ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1999. ISBN 0201360489.
- GLEESON, B. et al. Gestures for industry: Intuitive human-robot communication from human observation. In: *Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2013. (HRI '13), p. 349–356. ISBN 978-1-4673-3055-8.
- HAGRAS, H. et al. Online learning and adaptation of autonomous mobile robots for sustainable agriculture. *Auton. Robots*, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 13, n. 1, p. 37–52, jul. 2002. ISSN 0929-5593.
- HUXLEY, J. S. *Evolution: The modern synthesis*. London: Allen & Unwin, 1942.
- JEONG, S. et al. A social robot to mitigate stress, anxiety and pain in hospital pediatric care. In: *Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Extended Abstracts*. New York, NY, USA: ACM, 2015. (HRI'15 Extended Abstracts), p. 103–104. ISBN 978-1-4503-3318-4.
- KESSELRING, T. *Jean Piaget*. 3. ed. [S.l.: s.n.], 2008.
- KITANO, H. et al. Robocup: The robot world cup initiative. In: *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*. New York, NY, USA: ACM, 1997. (AGENTS '97), p. 340–347. ISBN 0-89791-877-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/267658.267738>>.
- LAMARCK, J. B. P. A. de Monet de. *Philosophie zoologique*. Cambridge University Press, 2011. Cambridge Books Online. ISBN 9781139103817. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139103817>>.
- MAES, P. Modeling adaptive autonomous agents. *Artificial Life Journal*, v. 1, p. 135–162, 1994.
- MAIA, R. S. *Modelo de Desenvolvimento Intelectual para Agentes Robóticos*. Tese (Doutorado) — UFRN, 2012.
- MAIA, R. S.; GONCALVES, L. M. G. Intellectual development model for multi-robot systems. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Springer Netherlands, p. 1–23, 2015. ISSN 0921-0296. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10846-015-0224-0>>.
- MAIA, R. S.; GONCALVES, L. M. G.; SOUZA, A. A. S. Concepção de um formalismo de aprendizagem baseado em modelos sociais para um time de robôs em execução cooperativa de tarefas. In: *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*. [S.l.: s.n.], 2011.
- MAIA, R. S.; SOUZA, A. A. S.; GONCALVES, L. M. G. A learning process model proposal for a multi-robot environment (in portuguese). *XI Congreso de La Sociedad Peruana de Computacion*, 2010.
- MARRO, A. A.; GONCALVES, L. M. G.; MAIA, R. S. Aplicação de um processo de aprendizagem para um ambiente multirrobô em resolução cooperativa de tarefas. *Proceedings of Congreso de la Sociedad Peruana de Computacion*, Pucallpa, p. 171–176, 2011.

- MATARIC, M. J. Designing and understanding adaptive group behavior. *Adaptive Behavior*, v. 4, p. 51–80, 1995.
- MILLER, R. K. *Robots in Industry: Applications for the Electronics Industry*. [S.l.]: S E A I Technical Publications, 1983. ISBN 0896710491.
- MUNARI, A. *Jean Piaget*. Recife, 2010. (Prentice Hall).
- MURPHY, R. R. *Introduction to AI Robotics*. fisrt. Cambridge, Massachusetts, EUA: MIT Press, 2000.
- NEHMZOW, U. Vision processing for robot learning. *Industrial Robot: An International Journal*, v. 26, n. 2, p. 121–130, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/01439919910260204>>.
- PALANGANA, I. C. *Desenvolvimento e aprendizagem em Piaget e Vygotsky a relevância do social*. [S.l.]: Grupo Editorial Summus, 2001.
- PEDERSEN, L. et al. Space robotics technology assessment report. *NASA Exploration Team NEXT*, 2002.
- PIAGET, J. *O nascimento da inteligência na criança*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1970.
- PIAGET, J. *Desenvolvimento e aprendizagem*. Studying teaching, 1972.
- PIAGET, J. *Comportamento motriz da evolução*. Porto: RÉS Editora, 1977.
- PIAGET, J. *A epistemologia genética*. [S.l.: s.n.], 1978.
- PIAGET, J. *Psicologia da inteligência*. [S.l.]: Ciências da educação, 1983.
- PIAGET, J. *Biologia e conhecimento: ensaio sobre as relações entre as regulações orgânicas e os processos cognitivos*. Petrópolis: [s.n.], 1996.
- PIAGET, J.; INHELDER, B. *A psicologia da criança*. São Paulo: Difel, 1982.
- ROOKER, M. N.; BIRK, A. Combining exploration and ad-hoc networking in robocup rescue. *Lecture notes in Artificial Intelligence, Subseries of Lecture notes in Computer Science*, v. 3276, p. 236–246, 2005.
- RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 2. ed. [S.l.]: Pearson Education, 2003. ISBN 0137903952.
- SGOUROS, N. M. Qualitative navigation for autonomous wheelchair robots in indoor environments. *Auton. Robots*, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 12, n. 3, p. 257–266, maio 2002. ISSN 0929-5593.
- SIEGWART, R.; NOURBAKHSI, I. R. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. Scituate, MA, USA: Bradford Company, 2004. ISBN 026219502X.
- SOUSA, M. A. F. Uma plataforma para cooperação autônoma de múltiplos robôs. *Rio de Janeiro*, 2008.

TAKAHASHI, M. et al. Developing a mobile robot for transport applications in the hospital domain. *Robot. Auton. Syst.*, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 58, n. 7, p. 889–899, jul. 2010. ISSN 0921-8890.

THRUN, S.; BURGARD, W.; FOX, D. *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*. [S.l.]: The MIT Press, 2005. ISBN 0262201623.

VYGOTSKY, L. S. *Mind and Society The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

VYGOTSKY, L. S. *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 1993.

WHITWORTH, I. R.; HARRIS, C. J. Mobile robots in a military environment. In: *Intelligent Autonomous Systems, An International Conference*. Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands: North-Holland Publishing Co., 1987. p. 641–646. ISBN 0-444-70168-0.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. Intelligent agents: Theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*, v. 10, p. 115–152, 1995.

YAMADA, T.; NAKANO, R. Genetic algorithms in engineering systems. *Institution of Electrical Engineers. IEEE Control Engineering Series 55*, p. 134–160, 1997.

APÊNDICE A – Quadro Cronológico da vida e obra do pesquisador Jean Piaget

- 1896** - Nasce em 9 de agosto, em Neuchâtel, na Suíça.
- 1915** - Forma-se em biologia, pela Universidade de Neuchâtel.
- 1918** - Torna-se doutor com tese sobre moluscos. Muda-se para Zurique para estudar psicologia.
- 1919-21** - Estuda em Paris, onde inicia os primeiros trabalhos sobre psicologia do desenvolvimento.
- 1921** - A convite do psicólogo da educação Edouard Claparède, aceita o cargo de Assistente Superior do Instituto Jean-Jacques Rousseau, em Genebra. Ali praticou a psicanálise e proceguiu seus estudos sobre biologia.
- 1923** - Lança seu primeiro livro: *A linguagem e o pensamento da criança*.
- 1924** - Casa-se com sua assistente Valentine Châtenay com quem teve três filhos.
- 1925** - Começa a lecionar psicologia, história da ciência e sociologia em Neuchâtel.
- 1932** - É publicado seu quinto livro sobre psicologia do desenvolvimento(o último de seus primeiros trabalhos): *O julgamento moral da criança*. Muitos desses livros foram inspirados pela observação de seus três filhos.
- 1941** - Publica em parceria com as pesquisadoras Bärbel Inhelder e Alina Szeminska trabalhos sobre a formação de conceitos matemáticos e físicos.
- 1950** - Publica a primeira síntese de sua teoria do conhecimento: *Introdução à Epistemologia Genética*.
- 1955** - É fundada, em Genebra, o Centro Internacional de Epistemologia Genética, destinado a realizar pesquisas interdisciplinares sobre a formação da inteligência.
- 1967** - Escreve sua principal obra da maturidade: *Biologia e conhecimento*.
- 1975** - Piaget recebe o título de Dr. Honoris Causa pela trigésima vez.

1976 - Defende diante de um júri internacional e interdisciplinar seu livro, editado no ano anterior: *A equilibração das estruturas cognitivas*.

1980 - Falece em 16 de setembro, em Genebra.

APÊNDICE B – Classe RoboSimulacao

Neste apêndice é apresentado o código fonte da principal classe (RoboSimulação), descrito na linguagem JAVA.

```

1 package robossimulacao;
2
3 import java.util.ArrayList;
4 import java.util.Collections;
5 import java.util.List;
6
7 /**
8  *
9  * @author Priscila
10 * /
11 public class RobosSimulacao {
12
13     /**
14     * @param args the command line arguments
15     */
16     public static void main(String [] args) {
17         ConhecimentoRoboObjeto cp = new ConhecimentoRoboObjeto ();
18         ConhecimentoRoboRobo crr = new ConhecimentoRoboRobo ();
19         Assimilacao ass = new Assimilacao ();
20         String con[] =
21         {"c1", "c2", "c3", "c4", "c5", "c6", "c7", "c8", "c9", "c10"};
22         List<String> objeto = new ArrayList<String>();
23         List<String> robo = new ArrayList<String>();
24         robo.add("rb1" + ":" + con[0] + "," + con[3]);
25         robo.add("rb2" + ":" + con[1] + "," + con[4] + "," + con[5]);
26         robo.add("rb3" + ":" + con[0] + "," + con[1] + "," + con[6]);
27         robo.add("rb4" + ":" + "-");
28         robo.add("rb5" + ":" + con[6] + "," + con[8] + "," + con[9]);
29         robo.add("rb6" + ":" + con[5] + "," + con[7] + "," + con[9]);
30         robo.add("rb7" + ":" + con[2]);
31         robo.add("rb8" + ":" + con[2] + "," + con[5]);
32         robo.add("rb9" + ":" + con[7]);
33         robo.add("rb10" + ":" + con[1] + "," + con[4] + "," + con[5]);
34
35         objeto.add("o1" + ":" + con[1] + "," + con[2] + "," + con[5]);
36         objeto.add("o2" + ":" + con[2] + "," + con[3] + "," + con[5] + "," +
37             con[7]);
38         objeto.add("o3" + ":" + con[8] + "," + con[9] + "," + con[7]);
39         objeto.add("o4" + ":" + con[0] + "," + con[9] + "," + con[6]);
40         objeto.add("o5" + ":" + con[1] + "," + con[4] + "," + con[9]);

```

```
41     objeto.add("o6" + ":" + con[0] + "," + con[2]);
42     objeto.add("o7" + ":" + con[6] + "," + con[7] + "," + con[8]);
43     objeto.add("o8" + ":" + con[0] + "," + con[9]);
44
45
46     Collections.shuffle(objeto);
47     List subobj = objeto.subList(0, 3);
48     String objselecao = "";
49     String roborandon = "";
50     for (int i = 0; i < subobj.size(); i++) {
51         objselecao = (String) subobj.get(i);
52         Collections.shuffle(robo);
53         roborandon = robo.get(0);
54         if (cp.compare(objselecao, roborandon).isEmpty()) {
55             System.out.println("Robo_conhece_o_objeto"+
56                 "____objeto:"+objselecao);
57             continue;
58         } else {
59             String rd = crr.Encontrar(cp.compare(objselecao, roborandon),
60                 robo);
61             String resul = ass.Assimilar(rd, roborandon);
62             robo.remove(roborandon);
63             System.out.println("Antes_————_[Depois]" + resul +
64                 "_____objeto:" + objselecao);
65         }
66     }
67 }
68 }
```

APÊNDICE C – Classe

ConhecimentoRoboObjeto

Neste apêndice é apresentado o código fonte da classe `ConhecimentoRoboObjeto`, descrito na linguagem JAVA. Essa classe verifica se o robô selecionado possui o conhecimento sobre o objeto especificado e retorna o conhecimento necessário, quando houver.

```

1 package robossimulacao;
2
3 import java.util.ArrayList;
4 import java.util.List;
5
6 /**
7  *
8  * @author Priscila
9  */
10 public class ConhecimentoRoboObjeto {
11
12     public List<String> compare(String objeto, String robo) {
13
14
15         String [] r = robo.split(":");
16         String r2 = r[1];
17         String [] conhecimentoRobo = r2.split(",");
18         String [] o = objeto.split(":");
19         String o2 = o[1];
20         String [] conhecimentoObjeto = o2.split(",");
21         List<String> roboDesconhece = new ArrayList<String>();
22         for (int i=0;i<conhecimentoObjeto.length;i++){
23             roboDesconhece.add(conhecimentoObjeto[i]);
24         }
25         for (int i = 0; i < conhecimentoObjeto.length; i++) {
26             for (int j = 0; j < conhecimentoRobo.length; j++) {
27                 if (conhecimentoObjeto[i].equals(conhecimentoRobo[j])) {
28                     roboDesconhece.remove(conhecimentoObjeto[i]);
29                 }
30             }
31         }
32         return roboDesconhece;
33
34     }
35 }

```

APÊNDICE D – Classe

ConhecimentoRoboRobo

Neste apêndice é apresentado o código fonte da classe `ConhecimentoRoboRobo`, descrito na linguagem JAVA. Essa classe busca, entre os robôs do ambiente, o conhecimento necessário para reconhecer o objeto especificado.

```

1 package robossimulacao;
2
3 import java.util.ArrayList;
4 import java.util.List;
5
6 /**
7  *
8  * @author Priscila
9  */
10 public class ConhecimentoRoboRobo {
11
12     public String Encontrar(List<String> roboDesconhece, List<String>
13         colegas )
14     {
15
16         List<String> guardar = new ArrayList<String>();
17
18         for (int i = 0; i < colegas.size(); i++) {
19             String [] c = colegas.get(i).split(":");
20             String c2 = c[1];
21             String [] conhecimentoColegas = c2.split(",");
22             for (int j = 0; j < roboDesconhece.size(); j++) {
23                 for (int f = 0; f < conhecimentoColegas.length; f++) {
24                     if (roboDesconhece.get(j).equals(conhecimentoColegas[f])) {
25                         if (!guardar.contains(conhecimentoColegas[f])) {
26                             guardar.add(conhecimentoColegas[f]);
27                         }
28                     }
29                 } System.out.println(guardar.toString());
30             }
31             if (guardar.size() == roboDesconhece.size()) {
32                 break;
33             }
34             c = null;
35             conhecimentoColegas = null;
36             c2 = null;
37         }

```

```
38     return guardar.toString();  
39 }  
40  
41 }
```

APÊNDICE E – Classe Assimilacao

Neste apêndice é apresentado o código fonte da classe Assimilacao, descrito na linguagem JAVA. Essa classe atribui novos conhecimentos ao robô.

```
1 package robossimulacao;
2
3 import java.util.ArrayList;
4 import java.util.List;
5
6 /**
7  *
8  * @author priscila
9  */
10 public class Assimilacao {
11
12     public String Assimilar(String roboDesconhece, String robo){
13         List<String> novoConhec = new ArrayList<String>();
14
15         novoConhec.add(robo+roboDesconhece);
16         return novoConhec.toString();
17
18     }
19 }
```