

Escalas de Medição dos Graus de Adaptabilidade e Inteligência de Agentes Cognitivos

Policarpo B. Uliana, Rui Seara, José Carlos M. Bermudez
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Elétrica
E-mail: poli@linse.ufsc.br

Abstract

This paper proposes a methodology for conceiving measurement scales for both adaptability and intelligence degrees of cognitive agents. Those scales are composed of a sequence of levels, which are related to the different environments in which the agent is placed. Initially, that agent does not retain any information about the environment and it must learn via an interaction process with both the environment and other agents. One of the proposed scales measures the agent performance for activities that are accomplished without changes of symbolic information (adaptability degree), and another scale measures the capability of the agent to deal with symbolic information (symbolic intelligence degree).

1. Introdução

Na década de 50, Turing [1] apresentou os primeiros trabalhos de divulgação científica relativos à possibilidade de simular artificialmente a *inteligência* para obtenção de máquinas *inteligentes*. Desde então, uma grande quantidade de testes de *inteligência*, derivada do teste proposto por Turing, vem sendo aplicada para avaliar se um sistema artificial é ou não *inteligente*. Esses testes levam a alguns questionamentos:

- i) Serão os sistemas que têm sucesso nestes testes realmente providos de *inteligência*? Os computadores podem ser programados para a realização de tarefas específicas (por exemplo, *jogar xadrez*), executando-as muito bem, sem que, para isso, tenham qualquer grau de *inteligência*;
- ii) A complexidade de um sistema está efetivamente relacionada ao seu grau de *inteligência*? Como os testes aplicados são geralmente muito difíceis, pois lidam com o mundo *real*, somente sistemas muito complexos teriam chance de ter sucesso nesses testes.

Neste contexto, formulamos a hipótese de que é possível definir escalas que permitam medir o grau de

inteligência de qualquer agente cognitivo inserido em um mundo real ou virtual, independentemente de sua complexidade, sem a necessidade de uma definição formal do que seja *inteligência*. Esta avaliação seria obtida através de escalas definidas por uma série de testes. Um exemplo hipotético deste tipo de escala é ilustrado pela Tabela 1.

Tabela 1 - Exemplo de avaliação de graus de *inteligência*.

| Agente cognitivo | Grau de <i>inteligência</i> |
|------------------|-----------------------------|
| Rato | 4 |
| Cachorro | 8 |
| Golfinho | 15 |
| Homem | 50 |

Esta escala hipotética seria uma ferramenta muito útil, pois novos modelos, arquiteturas ou algoritmos de controle de agentes cognitivos poderiam ser avaliados e aprimorados, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento de novos sistemas artificiais que possam, efetivamente, conter qualquer forma de *inteligência*.

Este artigo propõe o desenvolvimento de uma metodologia para a concepção de escalas de avaliações, que permitam medir parâmetros diretamente relacionados aos graus de *inteligência* de agentes cognitivos.

2. Bases Teóricas da Proposta

Piaget [2] realizou um amplo estudo do processo de aprendizagem das crianças. Ele definiu uma classificação do desenvolvimento de seres humanos através de uma série de etapas caracterizadas, principalmente, pela capacidade de cada ser interagir com o meio ambiente e formar agrupamentos e processos de classificação.

As teorias de Pierce [3] visam o entendimento de como os seres humanos manipulam símbolos (ou signos). Para Pierce, os signos não existem isolados na mente, mas sim na forma de uma tríade, devendo ser

considerados os objetos (associados a um contexto de mundo), os próprios símbolos (associados a uma forma de representação dos mesmos) e a interpretação mental dos símbolos (significado).

Esta proposta também está baseada nos trabalhos de Turing [1], Minsky [4], Searle [5], Newell e Simon [6].

3. Aplicabilidade da Proposta

As escalas propostas neste trabalho podem ser aplicadas para a avaliação de agentes cognitivos colocados em um contexto bem definido. Assim, dado um ambiente (um mundo real ou artificial), povoado com objetos que apresentem um conjunto de propriedades, um *agente cognitivo* é inserido neste meio, tendo a capacidade de receber informações sensoriais que reflitam propriedades do ambiente e dos objetos que o cercam. Além disso, o agente cognitivo possui atuadores que possibilitam a realização de uma série de ações (Fig. 1).

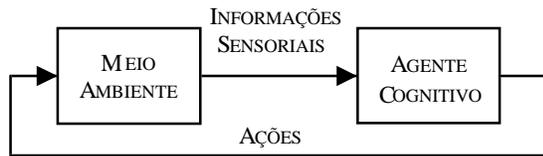


Figura 1: Interação entre o agente cognitivo e o meio ambiente.

Normalmente o agente cognitivo deve executar certas ações a fim de *viver* no mundo em que está inserido. Essas ações irão gerar estímulos de recompensa ou punição, que serão captados por sensores (externos ou internos) do agente [7]. O agente poderá também se comunicar com outros agentes (através de seus canais sensoriais e de seus atuadores) e trocar informações que normalmente irão facilitar seu desenvolvimento [8]. Em princípio, o agente não possui informações sobre o ambiente e não sabe lidar com informações simbólicas, apenas realiza ações instintivas (quando recebe certos estímulos). A tarefa fundamental do agente é aprender a *viver*, criando modelos mentais do ambiente que permitam estimar o resultado de suas ações. Este aprendizado é normalmente realizado através de processos de tentativa e erro.

O agente cognitivo também poderá ser ensinado por outros agentes, aprendendo através de exemplos (treinamento supervisionado). Em um nível mais avançado, o agente poderá aprender, através de outros agentes, uma linguagem simbólica que lhe permita desenvolver um processo de comunicação.

Apesar de esta abordagem estar limitada ao binômio agente-meio ambiente, a maior parte dos problemas estudados na área de *inteligência artificial* (IA) pode ser enquadrada nesse contexto.

4. Parâmetros Avaliados

O teste de Turing [1] tem por intuito avaliar o desempenho de um ser humano com determinada habilidade cognitiva na realização de uma atividade específica. Nesse contexto, dado um agente cognitivo inserido no cenário anteriormente descrito, podemos considerar dois grandes grupos de atividades que demandam habilidades cognitivas distintas:

- i) Atividades que são realizadas sem troca de informações simbólicas;
- ii) Atividades que dependam fundamentalmente de troca de informações simbólicas.

É conveniente mencionar que mesmo atividades do primeiro grupo podem ser bastante complexas, como é o caso, por exemplo, do *jogo de xadrez*, em que nenhuma comunicação entre os jogadores, em princípio, é necessária para o desenrolar do jogo. Porém, geralmente, essas tarefas mais complexas são mais rapidamente e facilmente assimiladas quando existe um processo de comunicação entre agentes.

Desta forma, os autores consideram a necessidade de definir inicialmente duas escalas para a medição de um dado agente cognitivo, uma para cada tipo de atividade:

- Grau de *adaptabilidade* (GA);
- Grau de *inteligência* simbólica (GIS).

Estes parâmetros serão descritos a seguir.

5. Medição do Grau de Adaptabilidade

Antes de conceituar o parâmetro definido por *grau de adaptabilidade* (GA), devemos fazer algumas considerações sobre a capacidade de um agente *viver* em um dado ambiente. O sentido que daremos para *viver* é a necessidade de um agente realizar um certo conjunto de atividades para determinadas situações. O agente deve realizar ações que promovam estímulos positivos e não realizar aquelas que gerem estímulos negativos. A avaliação pretendida está inerentemente ligada ao meio em que o agente está inserido. Por exemplo, considerando um agente que dispõe de *maçãs* verdes e vermelhas e, ao ingeri-las, recebe um estímulo negativo e um positivo, respectivamente. Podemos dizer, então, que o agente irá *viver* no ambiente se ele aprender a *comer* somente maçãs vermelhas, o que será constatado se o agente *comer* um número significativo (por exemplo, 10 ou 20) de maçãs vermelhas sem *comer* nenhuma verde.

Se o ambiente for, por exemplo, um tabuleiro do *jogo da velha*, o conceito *viver* pode estar associado a não perder nenhuma partida, e assim por diante.

O desempenho de um agente nas atividades realizadas sem troca de informações simbólicas pode ser caracterizado por:

- *Desempenho satisfatório*: o agente consegue *viver* em um dado ambiente;
- *Desempenho insatisfatório*: o agente não consegue *viver* em um dado ambiente.

O desempenho do agente irá depender não somente de sua capacidade *mental*, mas também de suas capacidades sensoriais e motoras. Por exemplo, um agente que, para *viver* em um dado ambiente, necessite diferenciar cores de objetos, irá ter um desempenho insatisfatório caso sua visão seja monocromática. Da mesma forma, se ele necessitar levantar pesos de até 20 kg e possuir capacidade para apenas 10 kg, ele também terá, nesse caso, desempenho insatisfatório.

Assim, ao invés de usarmos o conceito de *grau de desempenho*, optamos por avaliar o agente segundo o seu *grau de adaptabilidade*, que estaria ligado inerentemente ao seu sistema de controle (sua capacidade de aprendizado) e seria independente de suas limitações sensoriais e motoras.

Definição 1 - Grau de *Adaptabilidade* do agente em relação ao meio: Dados dois agentes A_1 e A_2 com capacidades sensoriais e motoras equivalentes, inseridos em um mesmo ambiente M e apresentando graus diferentes de *adaptabilidade*, o grau de *adaptabilidade* ao meio M relativo do agente A_1 será maior do que o do agente A_2 se o desempenho do agente A_1 for satisfatório e o do agente A_2 for insatisfatório:

Assim, matematicamente:

$$G_a|_M(A_1) > G_a|_M(A_2) \quad (1)$$

Obs.: Se os dois agentes tiverem o mesmo desempenho, nada podemos afirmar sobre seus graus de *adaptabilidade*.

Definição 2 - Grau de complexidade do meio em relação ao agente: Dados um agente A e dois ambientes M_1 e M_2 , considerando conjuntos equivalentes de informações sensoriais, porém graus de complexidade diferentes e confrontando-se o agente A com os ambientes M_1 e M_2 , o grau de complexidade de M_1 será menor do que o de M_2 se o agente tiver desempenho satisfatório no meio M_1 e insatisfatório no meio M_2 . Assim tem-se:

$$G_c|_A(M_1) > G_c|_A(M_2) \quad (2)$$

Obs.: Se o agente tiver o mesmo desempenho nos dois ambientes, nada podemos afirmar sobre o grau de complexidade dos ambientes.

Hipótese 1 - Dados um conjunto de ambientes (M_1, M_2, \dots, M_n) com diferentes graus de complexidade e um conjunto de agentes (A_1, A_2, \dots, A_m) com diferentes graus de *adaptabilidade*, os graus de complexidade relativos dos ambientes poderão ser obtidos

ordenando-se os mesmos, segundo o grau crescente (ou decrescente) de complexidade, que independe dos graus de *adaptabilidade* dos agentes. Assim:

$$G_c(M_i) < G_c(M_j) < \dots < G_c(M_k) < G_c(M_l) \quad (3)$$

Demonstração: Tomando-se dois meios quaisquer M_i e M_j , que têm por hipótese diferentes graus de complexidade, para um número tão grande quanto se deseje de agentes com diferentes graus de *adaptabilidade*, iremos identificar ao menos um agente que tenha desempenho satisfatório em um dos meios e insatisfatório no outro. Seguindo este procedimento para todos os ambientes, poderemos ordená-los segundo um grau crescente (ou decrescente) de complexidade.

Definição 3 - Escala para medição do grau de *adaptabilidade* de agentes cognitivos: Dado um conjunto de ambientes (M_1, M_2, \dots, M_n) com graus de complexidade crescente $(G_c(M_1) < G_c(M_2) < \dots < G_c(M_n))$, o grau de *adaptabilidade* de um dado agente será igual ao maior índice relativo ao conjunto de meios para o qual o agente apresentar desempenho satisfatório.

Obs.: O agente deve passar por todos os ambientes sem ter sua programação básica alterada. Para sistemas de IA, os responsáveis pela programação dos agentes não devem utilizar informações específicas de cada ambiente para programar as ações do agente.

Como podem ser definidos diversos conjuntos de ambientes (múltiplas escalas), sugerimos que cada escala proposta receba uma denominação específica, indicando o máximo índice associado a ela.

6. Medição do Grau de Inteligência Simbólica

Antes de se definir este parâmetro, devemos fazer algumas considerações sobre a capacidade de manipulação de símbolos ou de comunicação de um agente autônomo.

Para um dado ambiente, podemos definir um conjunto *limitado* de símbolos que expressem conceitos distintos e que estejam associados a elementos (concretos e/ou abstratos) desse ambiente. Esse conjunto de símbolos é denominado vocabulário coerente associado ao meio. Essa *limitação* deve-se ao fato de o agente, em princípio, não conhecer nenhum símbolo e ter de aprender o seu significado por intermédio de outros agentes inseridos no meio. Por exemplo, para um ambiente em que são representados apenas objetos em preto-e-branco, o símbolo *vermelho* (correspondente à cor vermelha) não faz parte do vocabulário coerente do meio e, portanto, não poderia ser ensinado ao agente. Os primeiros símbolos transmitidos (ensinados) estão geralmente associados a objetos e ações concretas, em seguida poderão ser ensinados símbolos relacionados a conceitos mais abstratos.

A capacidade de comunicação de um dado agente pode ser medida pela forma como ele domina o vocabulário coerente definido para o meio. Este domínio pode ser verificado de duas maneiras:

- Solicitando ao agente que realize uma determinada ação (por exemplo: *pegue bola verde*);
- Solicitando ao agente que responda a uma questão (por exemplo: *Cor bola?*).

Se o agente for capaz de realizar as tarefas e responder corretamente as questões formuladas, podemos concluir que ele tem domínio sobre um dado vocabulário coerente e consegue se comunicar através desse vocabulário.

Para meios mais complexos, não só a capacidade de comunicação do agente estará sendo medida mas também a sua capacidade de responder a questões genéricas e de realizar associações lógicas e inferências.

Desta forma, pretendemos avaliar o agente segundo um grau de *inteligência simbólica*, que estaria relacionado à capacidade de comunicação do agente, e, também, ao conceito de *inteligência*, normalmente associado aos seres humanos.

Definição 4 – Grau de *inteligência* simbólica do agente em relação ao ambiente: Dados dois agentes A_1 e A_2 com capacidades sensoriais e motoras equivalentes, com diferentes graus de *inteligência*, e confrontando-os com um mesmo ambiente M para o qual um dado vocabulário coerente é definido, o grau de *inteligência* simbólica relativo ao meio M do agente A_1 será maior do que o do agente A_2 se o agente A_1 dominar o vocabulário completo e o agente A_2 não. Assim tem-se:

$$G_{is|M}(A_1) > G_{is|M}(A_2) \quad (4)$$

Obs.: Se os dois agentes tiverem o mesmo desempenho, nada podemos afirmar sobre seus graus de *inteligência* simbólica.

Definição 5 – Grau de complexidade simbólica do meio em relação ao agente: Dados um agente A e dois ambientes M_1 e M_2 , com vocabulários coerentes distintos (ou aplicáveis em diferentes contextos), e confrontando o agente com os ambientes, o grau de complexidade simbólica de M_1 será menor do que o de M_2 se o agente A dominar o vocabulário coerente de M_1 e não o de M_2 . Então:

$$G_{cs|A}(M_1) > G_{cs|A}(M_2) \quad (5)$$

Obs. 1: Se o agente tiver o mesmo desempenho nos dois ambientes, nada podemos afirmar sobre o grau de complexidade simbólica dos mesmos.

Obs. 2: Se o vocabulário coerente de um meio estiver contido no do outro, o de menor vocabulário terá menor grau de complexidade simbólica.

Hipótese 2 - Dados um conjunto de ambientes (M_1, M_2, \dots, M_n) com diferentes graus de complexidade simbólica e um conjunto de agentes (A_1, A_2, \dots, A_n) com diferentes graus de *inteligência* simbólica, os graus de complexidade simbólica relativos poderão ser obtidos ordenando-se os ambientes segundo o grau crescente (ou decrescente) de complexidade, que independe do grau de *inteligência* dos agentes. Assim:

$$G_{cs}(M_i) < G_{cs}(M_j) < \dots < G_{cs}(M_k) < G_{cs}(M_l) \quad (6)$$

Demonstração: Idêntica à da *Hipótese 1*.

Definição 6 – Escala para medição do grau de *inteligência* simbólica de agentes cognitivos: Dado um conjunto de ambientes (M_1, M_2, \dots, M_n) com graus de complexidade simbólica crescente $(G_{cs}(M_i) < G_{cs}(M_j) < \dots < G_{cs}(M_k) < G_{cs}(M_l))$, o grau de *inteligência* simbólica de um dado agente será igual ao maior índice relativo ao conjunto de meios onde o agente demonstrar domínio do vocabulário coerente definido para o meio.

Obs.: Em princípio, o agente não deve possuir qualquer domínio de vocabulário. No entanto, o vocabulário aprendido em um determinado nível poderá ser usado no próximo nível.

Como podem ser definidas diversas escalas, sugerimos que, na denominação de cada uma delas, seja indicado o máximo índice da escala.

7. Considerações sobre as Escalas

As escalas para medição dos graus de *adaptabilidade* e *inteligência* simbólica apresentadas foram baseadas em testes que se enquadram com a proposta original de Turing [1] sobre certos aspectos, porém se diferenciam em outros:

- A escala é aplicável somente a agentes cognitivos que inicialmente não possuem qualquer informação sobre o ambiente onde estão inseridos;
- São definidos uma série de níveis com graus de dificuldade crescentes.

Assim como Turing [1], estamos interessados pela *inteligência* num sentido mais próximo ao aplicável aos seres humanos. Entretanto, as escalas propostas não levam em conta aspectos mais abstratos que algumas vezes estão associados à *inteligência*, tal como a autoconsciência do agente; considerando-se apenas as ações e reações que possam ser efetivamente medidas.

8. Resultados

Foram propostas duas escalas, apresentadas nos Apêndices I e II. Através destas escalas, foram avaliados voluntários humanos, que obtiveram desempenho máximo, o que demonstra que as mesmas são aplicáveis na avaliação de agentes cognitivos. O tempo para resolução de cada nível variou

consideravelmente para cada voluntário. Além disso, verificando-se os processos de aprendizagem em seres humanos, podemos perceber algumas características comuns que poderiam ser esperadas (se não consideradas) em um sistema de IA. Implementamos algumas estruturas de IA baseadas em sistemas conexionistas através do uso de esquemas [9]. Essas estruturas foram testadas com auxílio das escalas propostas, o que permitiu um aprimoramento das mesmas. Para uma validação mais abrangente da metodologia proposta, torna-se necessário um minucioso processo de especificação e detalhamento das escalas, seguido de uma etapa experimental consistente.

9. Conclusões e Discussões

Este trabalho propõe uma metodologia para a construção de escalas para medição da *adaptabilidade* e *inteligência* de agentes cognitivos inseridos em um determinado ambiente. Um longo caminho ainda deve ser percorrido a fim de que se obtenha uma verdadeira ferramenta de avaliação que possa ser ampla e eficazmente utilizada. Apesar de as escalas propostas poderem ser empregadas na medição de desempenho de seres humanos, o objetivo fundamental dessas escalas é a classificação de sistemas de IA. Consideramos que a metodologia proposta representa um importante passo na direção da obtenção de ferramentas de avaliação de sistemas de IA.

Referências

- [1] A. Turing. Computing Machinery and Intelligence, in Computers and Troughs. New York, NY, McGraw-Hill, 1963.
- [2] J. Piaget, B. Inhelder. Gênese das Estruturas Lógicas Elementares. Rio de Janeiro, RJ, Zahar Editores, 1976.
- [3] C. S. Pierce. Semiótica e Filosofia. Textos escolhidos de Charles S. Pierce. São Paulo, SP, Ed. Cultrix/USP, 1975.
- [4] M. A. Minski. Framework for Representing Knowledge. Collins, A.; Smith, E. E. Readings in Cognitive Sciences, A Perspective from Psychology and Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann Publishers, 1988.
- [5] J. R. Searle. Minds, brains and programs. The Behavioral and Brain Sciences. 3, pages 417-458, 1980.
- [6] A. Newell, H. A Simon. Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search. Reprinted in J. L. Garfield (ed.) Found. Cognitive Science: The Essential Readings, pages 113-138, New York, NY, Paragon House, 1990.
- [7] G .N. Reeke, O. Sporns, G. M Edelman. Synthetic neural modeling: The Darwin series of recognition automata. Proc. IEEE 78:1498-1530, 1990.
- [8] F. A. P. Fialho. Modelagem computacional das estruturas cognitivas conforme proposto por Jean Piaget. Tese de doutorado, Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC. Florianópolis, SC, 1993.

- [9] R. S. Wazlawick. Um Modelo Operatório para Construção de Conhecimento. Tese de doutorado, Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC. Florianópolis, SC, 1993.

Apêndice I – Escala GA: Objeto-Ação (9 níveis)

Esta escala serve para medir o grau de *adaptabilidade* de um agente autônomo. O ambiente em que o agente está inserido é composto de um cenário, em que objetos são apresentados, e de comandos, representando ações que o agente pode tomar. Os objetos possuem atributos percebidos pelo agente, como sua forma e sua cor. O agente recebe do ambiente reforços positivos e negativos em resposta às suas ações. O grau de complexidade do ambiente varia de acordo com o número de objetos, com a variedade de tipos de objetos e com a quantidade de comandos disponíveis. A Fig. 2 apresenta uma sugestão (exemplo) para representar objetos que são observados pelo agente segundo um padrão binário de entrada, usando 9 bits.



Figura 2: Exemplo de objetos.

A complexidade é crescente em cada nível da escala proposta. Além do mais, cada nível foi subdividido em sub-níveis a fim de acomodar aumentos de complexidade intra-níveis, tal como inclusão de ruídos aleatórios superpostos aos padrões de entrada. A seguir uma breve descrição dos primeiros quatro níveis é apresentada.

Nível 1.1

Descrição: Apenas uma ação (pressionar um botão) está disponível. Quando o botão é pressionado, um reforço positivo é gerado. Um tempo muito longo sem pressionar o botão gera um reforço negativo.

Nível 1.2

Descrição: Idem ao nível 1.1, mas pressionando o botão 2 vezes;

Nível 1.3

Descrição: Idem ao nível 1.1, mas pressionando o botão N vezes;

Nível 2.1

Descrição: Um único tipo de objeto é apresentado, e uma ação (pressionar um botão) está disponível. Quando o objeto é apresentado, o botão deve ser pressionado, gerando um reforço positivo.

Nível 2.2

Descrição: Dois tipos de objetos são apresentados em seqüência, sendo que o agente deve escolher um único tipo. Uma escolha incorreta gera um reforço negativo.

Nível 2.3

Descrição: Idem ao nível 2.2, sendo apresentados objetos de vários tipos (formas, cores, etc.).

Nível 2.4

Descrição: Idem ao nível 2.3, mas com ruído sobreposto aos sinais de entrada.

Nível 3.1

Descrição: Um objeto (de várias formas e cores) é apresentado, e dois botões estão disponíveis. Pressionando o primeiro botão, o agente pega o objeto e o segundo botão mostra o próximo objeto. O agente deve pegar alguns tipos de objetos e descartar outros.

Nível 3.2

Descrição: Idem ao nível 3.1, com ruído sobreposto aos sinais de entrada.

Nível 4.1

Descrição: Dois objetos (A e B) de várias formas e cores são apresentados, e dois botões estão disponíveis. O primeiro botão é usado para pegar o objeto A e o segundo botão mostra o próximo objeto. O agente deve pegar o objeto A que for igual ao objeto B apresentado.

Nível 4.2

Descrição: Idem ao nível 4.1, com ruído sobreposto aos objetos.

Apêndice II – Escala GIS: ABCE (11 níveis)

Esta escala serve para medir o grau de *inteligência* simbólica de agentes autônomos. O ambiente em que o agente está inserido é composto de um cenário em que objetos e comandos são apresentados. O agente também pode observar uma série de símbolos que compõem palavras. Utilizando, por exemplo, quatro símbolos (representados pelas letras A,B,C,E) formando palavras, conforme mostrado na Tabela 2, o agente pode dispor de comandos para escrever uma palavra. O agente recebe do ambiente reforços positivos e negativos em resposta às suas ações. A seguir é apresentada uma breve descrição dos primeiros sete níveis.

Nível 1

Descrição: Símbolos que representam as ações são apresentados sempre que o agente realiza uma delas. Após um período de treinamento, os símbolos relativos às ações são apresentados em seqüência, devendo o agente realizá-las.

Nível 2

Descrição: O agente deve aprender a repetir as palavras que recebe.

Nível 3

Descrição: O agente deve realizar ações escrevendo o nome das mesmas.

Nível 4

Descrição: Palavras que representam as cores e as formas dos objetos são apresentadas e estão associadas aos objetos. Após um período de treinamento é apresentada uma frase contendo uma ação e uma determinada característica, devendo o agente realizar essa ação (por exemplo, ABAB ACAB BABA → pegar círculo azul).

Nível 5

Descrição: Os conceitos *cor* (BEBE) e *forma* (BACA) são ensinados ao agente. Após um período de treinamento pergunta-se *qual cor* (BECE BEBE) ou *qual forma* (BECE BACA) de um objeto apresentado, devendo o agente responder com a palavra associada à *forma* ou à *cor* do objeto.

Nível 6

Descrição: Os conceitos *sim* (CABE) e *não* (CABA) são ensinados ao agente. Após um período de treinamento pergunta-se *cor azul?* (BEBE BABA BECE) ou *forma quadrado?* (BACA ABEB BECE) para um dado objeto, devendo o agente responder *sim* ou *não*.

Nível 7

Descrição: Os conceitos *dor* (CEBA) e *prazer* (CEBE) são ensinados ao agente. Frases do tipo *pegar quadrado vermelho igual dor* (ABAB ABEB BABE CACE CEBA) são apresentadas. A seguir, pergunta-se ao agente algo como *pegar círculo preto igual?* (ABAB ACAB ACAC CACE BECE), sendo que o agente deve responder com os símbolos representando *dor* ou *prazer* conforme o caso.

Tabela 2: Exemplos de vocabulário coerente.

| Símbolo | Significado |
|---------|-----------------|
| ABAB | Pegar objeto |
| ABAC | Novo objeto |
| ABEC | Objeto anterior |
| ABEB | Quadrado |
| ACAB | Círculo |
| ACAC | Cruz |
| ACEB | Triângulo |
| ACAC | Preto |
| BABA | Azul |
| BABE | Vermelho |
| BEBA | Verde |
| BEBE | Cor |
| BACA | Forma |
| BACE | Ação |
| BECA | Objeto |
| BECE | Qual (?) |
| CABA | Não |
| CABE | Sim |
| CEBA | Mau (dor) |
| CEBE | Bom (prazer) |
| CACA | Nada |
| CACE | Igual |
| CECA | Se |
| CECE | Então |
| EBAB | Senão |
| EBAC | E |
| EBEC | Ou |