

# Uma Abordagem Baseada em Tópicos para Mudança de Crenças em Diálogos Cooperativos

Joselyto Riani

MAC5701 – Tópicos em Ciência da Computação  
Relatório de Estudos

Área de Concentração: Inteligência Artificial

Orientador: Renata Wassermann

IME-USP  
São Paulo – Novembro de 2001

# Resumo

O interesse do aluno é o estudo de agentes inteligentes capazes de dialogar com outros agentes, naturais ou artificiais, através do uso de linguagem natural. Trata-se de um vasto campo de pesquisa que engloba áreas como processamento de linguagem natural, reconhecimento de voz e lingüística computacional, além de buscar fundamentos em áreas fora da ciência da computação, como lógica filosófica e psicolingüística.

Uma das aplicações desta área é a implementação de sistemas interativos como sistemas de consulta a bancos de dados e sistemas de ajuda ao usuário. A idéia de ter o usuário interagindo com o sistema através de linguagem natural é bastante interessante, pois as pessoas em geral não gostam de digitar.

Entre as inúmeras questões que estão sendo estudadas atualmente neste campo, encontra-se o problema de mudança de crença, pois as sentenças proferidas no decorrer de um diálogo causam mudanças nas crenças dos agentes participantes no diálogo.

Este relatório apresenta a proposta de Andreas Herzig e Dominique Longin para mudança de crenças em diálogos cooperativos baseada no conceito de tópicos e competência dos agentes sobre tópicos. Herzig e Longin defendem a tese de que um agente somente deve aceitar informações de outro agente se este último é considerado competente sobre o tópico em discussão.

Também é apresentada a arquitetura BDI (Belief, Desire and Intention), idealizada por Perrault, Cohen e Levesque, na qual os agentes estudados por Herzig e Longin foram implementados. A arquitetura BDI tem como fundamento os estudos do filósofo americano Michael Bratman, segundo o qual um agente toma ações principalmente com base em suas crenças, desejos e intenções. No contexto de diálogos, as ações de um agente são o que falar, perguntar e responder.

Como resultado do estudo realizado, o aluno identificou algumas questões a investigar que poderão ser apresentadas como projeto de dissertação. Entre elas estão o conceito de grau de competência, a possibilidade de inferência de competência e a utilização do conceito de competência como base para o planejamento de perguntas.

*Palavras-Chave:* mudança de crença, tópicos, diálogos cooperativos, arquitetura BDI, comunicação entre agentes, competência de um agente.

---

# Sumário

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Introdução.....</b>                                                        | <b>1</b>  |
| 1.1 Organização do Relatório.....                                               | 1         |
| 1.2 O Diálogo Exemplo.....                                                      | 2         |
| <b>2 O Uso de Lógica em Sistemas Interativos de Diálogos .....</b>              | <b>3</b>  |
| 2.1 Vantagens da Utilização de Lógica.....                                      | 3         |
| 2.2 Sistemas Lógicos Clássicos.....                                             | 4         |
| 2.3 Lógica Modal .....                                                          | 5         |
| 2.3.1 Operadores Modais .....                                                   | 6         |
| 2.3.2 Axiomas Lógicos.....                                                      | 7         |
| 2.4 Aplicação no Diálogo Exemplo .....                                          | 8         |
| <b>3 O Modelo BDI.....</b>                                                      | <b>10</b> |
| 3.1 Conceitos Preliminares.....                                                 | 10        |
| 3.1.1 Agentes.....                                                              | 10        |
| 3.1.2 Agentes Racionais.....                                                    | 10        |
| 3.1.3 Diálogos Cooperativos .....                                               | 11        |
| 3.1.4 Atitudes Mentais .....                                                    | 12        |
| 3.1.5 Atos de Fala (“speech acts”) .....                                        | 13        |
| 3.1.6 A Dinâmica de um Diálogo.....                                             | 14        |
| 3.2 A Teoria do Raciocínio Prático.....                                         | 14        |
| 3.3 O Comportamento dos Agentes segundo suas Crenças, Desejos e Intenções ..... | 15        |
| <b>4 Um Sistema Lógico Multi-Modal para Diálogos .....</b>                      | <b>17</b> |
| 4.1 Definição dos Operadores e Constantes da Linguagem.....                     | 17        |
| 4.2 Axiomas Lógicos.....                                                        | 17        |
| 4.2.1 Operador de Crença.....                                                   | 17        |
| 4.2.2 Operador de Crença Mútua .....                                            | 18        |
| 4.2.3 Operador de Intenção .....                                                | 18        |
| 4.2.4 Operadores de Ação (Done e Feasible).....                                 | 18        |
| 4.2.5 Operadores Temporais .....                                                | 18        |
| 4.3 Leis.....                                                                   | 19        |
| 4.3.1 Leis Estáticas.....                                                       | 19        |
| 4.3.2 Leis que Governam os Atos de Fala.....                                    | 19        |
| 4.3.3 Leis Reativas .....                                                       | 19        |
| <b>5 O Problema da Mudança de Crenças.....</b>                                  | <b>20</b> |
| 5.1 O Modelo AGM .....                                                          | 21        |
| 5.2 A Abordagem de Cohen e Levesque.....                                        | 21        |
| 5.3 A Abordagem de Perrault.....                                                | 22        |

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6 Mudança de Crença baseada em Tópicos.....</b>                    | <b>23</b> |
| 6.1 Tópicos .....                                                     | 23        |
| 6.1.1 Contextualização de Tópicos .....                               | 24        |
| 6.1.1.1 Tema.....                                                     | 24        |
| 6.1.1.2 Contexto .....                                                | 24        |
| 6.1.1.3 Tópico.....                                                   | 24        |
| 6.2 O Assunto de um Fórmula .....                                     | 25        |
| 6.2.1 O Assunto de uma Fórmula Atômica.....                           | 25        |
| 6.2.2 O Assunto de T.....                                             | 25        |
| 6.2.3 O Assunto de uma Negação .....                                  | 25        |
| 6.2.4 O Assunto de uma Conjunção.....                                 | 25        |
| 6.2.5 O Assunto de uma Crença.....                                    | 26        |
| 6.2.6 O Assunto de uma Crença Mútua .....                             | 26        |
| 6.2.7 O Assunto de uma Intenção .....                                 | 26        |
| 6.2.8 O Assunto de uma Ação Realizada .....                           | 26        |
| 6.2.9 O Assunto de uma Quantificação Universal .....                  | 26        |
| 6.2.10 O Assunto da Instância de uma Fórmula .....                    | 27        |
| 6.3 A Competência de um Agente .....                                  | 27        |
| 6.4 O Escopo de um Ato de Fala.....                                   | 27        |
| 6.5 Estrutura de Tópicos.....                                         | 28        |
| 6.6 Preservação de Crenças Antigas .....                              | 28        |
| 6.7 Adoção de Crenças.....                                            | 28        |
| 6.8 Aplicação da Abordagem Baseada em Tópicos no Diálogo Exemplo..... | 29        |
| 6.9 Discussão da Abordagem Baseada em Tópicos.....                    | 29        |
| <b>7 Questões a Investigar .....</b>                                  | <b>31</b> |
| 7.1 Atribuição de Graus às Funções da Estrutura de Tópicos.....       | 31        |
| 7.2 Assunto de uma Constante Individual.....                          | 31        |
| 7.3 Definição da Estrutura de Tópicos dentro da Linguagem.....        | 31        |
| <b>Bibliografia .....</b>                                             | <b>33</b> |

---

# 1 Introdução

Um agente participante em um diálogo deve manter um conjunto de informações sobre o mundo externo através do qual ele é capaz de interagir com os outros agentes fazendo perguntas e formulando repostas. Chamamos este conjunto de informações de as crenças do agente. É natural que no decorrer de um diálogo um agente receba uma nova informação que entra em conflito com alguma crença prévia do mesmo. O processo de resolver este conflito é chamado de mudança de crenças.

O estudo mais importante e reconhecido atualmente sobre mudança de crenças foi realizado em 1985 em [AGM85] por Alchourrón, Gärdenfors e Makinson, ficando conhecido como o modelo AGM. Neste modelo, as crenças dos agentes são representadas através de conjuntos de fórmulas de uma linguagem de lógica proposicional clássica e foram definidos operadores para expansão, contração e revisão das crenças de um determinado agente.

Em [HL00a], Andreas Herzig e Dominique Longin apontam duas características indesejáveis no modelo AGM para implementação de diálogos entre agentes. A primeira delas é o fato do modelo ter sido estudado apenas com lógica proposicional clássica, o que dificulta, por exemplo, a capacidade de um agente manter crenças sobre as crenças dos outros agentes sem influenciar as suas próprias crenças. A outra desvantagem do modelo AGM é o fato de que algumas premissas adotadas para o comportamento dos agentes não se aplicam diretamente em diálogos. Por exemplo, segundo o modelo AGM, se um agente *i* acredita que o céu é azul e outro agente *j* diz para ele que o céu não é azul, o agente *i* imediatamente passa a acreditar que o céu não é azul. Suponha agora que o agente *j* é daltônico. Ora, com esta suposição, seria mais razoável que o agente *i* mantivesse sua crença de que o céu é azul e apenas guardasse a crença de que o agente *j* acredita que o céu não é azul.

Herzig e Longin defendem a tese de que um agente somente deve aceitar informações de outro agente se este último é considerado competente sobre o tópico em discussão. No exemplo dado anteriormente, o agente *i* não aceitaria a informação de que o céu não é azul porque o agente *j*, que é daltônico, não é considerado competente sobre o tópico cores.

## 1.1 Organização do Relatório

Na seção 2, são introduzidos alguns conceitos sobre utilização de lógica em sistemas de diálogos interativos. A seção 3 contém uma descrição resumida da arquitetura BDI (Belief, Desire and Intention) que fornece um modelo para agentes racionais baseado em crenças, desejos e intenções. Na seção 4, é apresentado um sistema lógico capaz de capturar as propriedades dos agentes participantes em diálogo. A seção 5 conceitualiza o problema de mudança de crença e apresenta algumas abordagens conhecidas.

A seção 6 introduz o conceito de tópicos, base para o modelo de mudança de crença proposto por [HL00a], e mostra como eles podem ser úteis no processo de mudança de crença. Finalmente, na seção 7, são apresentadas algumas questões a serem estudadas identificadas pelo aluno.

## 1.2 O Diálogo Exemplo

No decorrer do relatório, os conceitos sendo apresentados serão ilustrados através de um diálogo exemplo semelhante ao que é usado em [HL00a]. Este diálogo é travado entre um agente artificial, um sistema de vendas de passagens de ônibus, que será denotado por *s*, e um agente natural, um usuário que deseja adquirir uma passagem, denotado por *u*. A cada proferimento é associado um identificador formado pelo agente proferidor, *s* ou *u*, e um índice que indica o ordem em que a sentença foi proferida pelo agente. Por exemplo, *u*<sub>3</sub> é o terceiro proferimento do agente *u* no diálogo exemplo (veja a Figura 1).

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>s</i><sub>1</sub>: Olá, em que posso ajudá-lo?</p> <p><i>u</i><sub>1</sub>: Uma passagem de executivo para o Rio, por favor.</p> <p><i>s</i><sub>2</sub>: São R\$ 150,00.</p> <p><i>u</i><sub>2</sub>: Ave Maria, vou de ônibus convencional.</p> <p><i>s</i><sub>3</sub>: Tudo bem, são R\$ 100,00.</p> <p><i>u</i><sub>3</sub>: Ah, eu vou partir de São José dos Campos.</p> <p><i>s</i><sub>4</sub>: Então são R\$ 85,00.</p> <p><i>u</i><sub>4</sub>: Posso pagar os R\$ 80,00 com meu cartão?</p> <p><i>s</i><sub>5</sub>: Desculpe, mas o preço não é R\$ 80,00. São R\$ 85,00. Sim, você pode pagar com seu cartão.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Figura 1 O Diálogo Exemplo**

O diálogo mostrado na Figura 1 ilustra bem o tipo de aplicação que temos em mente. Outro exemplo interessante seriam sistemas de ajuda ao usuário como os que nos atendem na maioria dos centros de atendimento das grandes empresas. Atualmente, estes sistemas interagem com o usuário listando um conjunto de opções que o usuário pode selecionar através do teclado de seu telefone. Geralmente, a seleção de uma opção leva o usuário a uma outra lista de sub-opções e assim por diante, até que o usuário consiga a informação desejada ou finalmente é atendido por um atendente “natural”, o que torna o processo bastante tedioso.

---

## 2 O Uso de Lógica em Sistemas Interativos de Diálogos

Um agente artificial capaz de manter um diálogo cooperativo de forma racional, como o que foi apresentado como exemplo, precisa ser inteligente. Uma das propriedades da inteligência é que a mesma requer conhecimento e métodos para manipulação deste conhecimento. Nas últimas décadas, os pesquisadores da área de Inteligência Artificial estudaram várias formas de representação e manipulação de conhecimento, entre estas está o uso de lógica.

Esta seção está dividida nas seguintes sub-seções

- **Vantagens da Utilização de Lógica:** mostra quais são as vantagens da utilização de lógica de uma forma geral.
- **Sistemas Lógicos Clássicos:** apresenta uma breve descrição dos sistemas lógicos clássicos (a lógica proposicional e a lógica de predicados de primeira ordem).
- **Lógica Modal:** apresenta os conceitos da lógica modal que tem se mostrado adequada para modelar sistemas que lidam com estado mentais de agentes como o sistema proposto de diálogo cooperativo.
- **Aplicação no Diálogo Exemplo:** mostra como algumas propriedades do diálogo exemplo podem ser expressadas através da lógica modal.

O leitor interessado em maiores detalhes sobre o campo da lógica é referenciado para o [Gam91a] e [Gam91b], que oferecem uma visão orientada para o uso da lógica em linguagem natural, ou para [Hod83] e [BS84] que oferecem uma abordagem mais pura.

### 2.1 Vantagens da Utilização de Lógica

As linguagens de lógica apresentam algumas características interessantes que fazem das mesmas uma boa escolha para representar conhecimento em sistemas que lidam com linguagens naturais. Em seu livro sobre processamento de linguagem e voz, [JM00], Daniel Jurafsky e James Martin apontam para algumas destas características:

- **Verificabilidade:** capacidade de comparar uma determinada sentença contra as informações contidas na base de conhecimento.
- **Precisão:** fato de que as expressões da linguagem de lógica não são ambíguas, isto é, possuem sempre um único significado.
- **Inferência:** capacidade de derivar novas informações a partir das informações existentes na base de conhecimento.
- **Expressividade:** capacidade de expressar corretamente as entidades, propriedades e relacionamentos desejados no domínio em questão.

Outra vantagem da utilização de lógica que podemos citar aqui, é que esta possui um formalismo matemático bem estabelecido, que é objeto de estudo desde o tempo de

Aristóteles, há mais de 2000 anos. Em [Woo00], Michael Woodridge argumenta em favor do uso de lógica em sistemas de multi-agentes da seguinte forma:

“Ao adotar uma abordagem baseada em lógica, está-se reaproveitando todos os resultados e técnicas da mais antiga, rica, bem fundamentada e estabelecida área da matemática.”.

Em [Gam91a], seção 1.2, é apresentada uma boa descrição do uso lógica em sistemas que lidam com linguagem natural, veja alguns trechos adaptados deste texto:

“O que faz da lógica uma ferramenta útil para a linguística é a sua capacidade de definir com precisão o significado de determinadas expressões como por exemplo conjunções gramaticais (e, ou, se, etc.), negações e quantificadores (para todo, algum, etc.).”

“A lógica pode ser aplicada em dois campos. Uma deles é a análise semântica de construções gramaticais, não apenas as citadas antes (conjunções, negações e quantificadores) mas também construções temporais, modais, intencionais e outras. O outro campo é a análise semântica de expressões não indicativas, como perguntas. Historicamente, a lógica tem sido aplicada na análise semântica de expressões indicativas, mas os mesmos conceitos lógicos podem ser aplicados no estudo de outros tipos de expressões.”

## 2.2 Sistemas Lógicos Clássicos

Não existe uma lógica universal que seja capaz de expressar todas as particularidades de todos os problemas do mundo. Na prática, são criados diferentes sistemas lógicos cada um com características particulares para tratar uma determinada classe de problemas. Um sistema lógico é caracterizado pela semântica das expressões, chamadas de constantes lógicas, que o mesmo trata.

A lógica proposicional é um sistema lógico que lida com expressões compostas pelas conjunções e, ou, se e por negações (veja a Tabela 1). Expressões que não contêm as constantes lógicas são chamadas de proposições ou sentenças atômicas e são representadas por letras minúsculas chamadas de letras proposicionais.

| Constante Lógica  | Sentenças Compostas                                    | Significado         |
|-------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|
| $\neg$            | $\neg p$ (negação de p)                                | Não é verdade que p |
| $\wedge$          | $p \wedge q$ (conjunção de p e q)                      | p e q               |
| $\vee$            | $p \vee q$ (disjunção de p e q)                        | p e/ou q            |
| $\rightarrow$     | $p \rightarrow q$ (implicação material de p e q)       | Se p, então q       |
| $\leftrightarrow$ | $p \leftrightarrow q$ (equivalência material de p e q) | p se e somente se q |

**Tabela 1 Constantes Lógicas da Lógica Proposicional**



A lógica de predicados de primeira ordem é uma extensão da lógica proposicional que acrescenta as constantes lógicas mostradas na Tabela 2. Suas sentenças atômicas são chamadas de predicados que, na realidade, são relações existentes entre determinados indivíduos. Geralmente, os predicados são representados por letras maiúsculas e o indivíduos por letras minúsculas, chamadas de constantes individuais.

| Constante Lógica | Sentenças Compostas | Significado                                                    |
|------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------|
| $\forall$        | $\forall x\phi$     | $\phi$ é verdade para toda entidade x do domínio em questão.   |
| $\exists$        | $\exists x\phi$     | $\phi$ é verdade para alguma entidade x do domínio em questão. |

**Tabela 2 Constantes Lógicas da Lógica de Predicados de Primeira Ordem**

## 2.3 Lógica Modal

Em primeira instância, seria possível modelar as propriedades e comportamento dos agentes participantes em diálogos apenas através do uso de lógicas de predicado de primeira ordem. Entretanto, esta tarefa seria difícil pois este tipo de aplicação envolve raciocinar sobre os estados mentais dos agentes, por exemplo crença, desejo, intenção, objetivo, etc, o que a lógica de predicado não trata muito bem.

Para exemplificar esta questão, vamos tomar como exemplo as seguintes sentenças que representam algumas crenças de um certo indivíduo:

1. João acredita que a neve atrasou o voo de Maria.
2. O voo de Maria é o 1045.

Podemos traduzir estas sentenças em linguagem natural as seguintes sentenças em uma linguagem de lógica de predicado de primeira ordem:

1. Acredita(Joao,Atrasou(Neve,VooMaria))<sup>1</sup>.
2. VooMaria = Voo1045.

Ora, uma das principais formas de raciocínio da lógica de predicados é o princípio da extensionalidade, pelo qual podemos substituir termos equivalentes. Aplicando este princípio, podemos concluir a partir de 1 e 2 acima que

Acredita(Joao,Atrasou(Neve,Voo1045).

<sup>1</sup> Na realidade, esta fórmula não é uma fórmula bem formada, pois a lógica de predicados não permite que uma variável seja um predicado. Entretanto, vamos ignorar este problema de sintaxe aqui e nos concentrar no problema semântico descrito na sequência. Em geral, quando se deseja usar apenas lógicas clássicas, as pessoas resolvem este problema através do uso de uma meta-linguagem na qual as constantes individuais são fórmulas de uma outra linguagem. Entretanto, este esquema pode requerer vários níveis de meta-linguagens, o que o torna extremamente complexo de tratar.

Isto é, traduzindo de volta para linguagem natural, que João acredita que a neve atrasou o voo 1045. Entretanto, isto pode não ser verdade, pois não temos a informação de que João acredita ou sabe que o voo de Maria é o 1045<sup>2</sup>.

Percebe-se então que não podemos traduzir o verbo crer, ou seus sinônimos próximos como acreditar e achar, simplesmente como um predicado de uma linguagem. O que podemos fazer é criar uma constante lógica específica para o verbo crer que tem um significado próprio na linguagem, por exemplo, não se aplicando o princípio da extensionalidade à mesma. Esta nova linguagem obtida acrescentando-se esta nova constante com sua interpretação, é uma extensão da linguagem de predicado e é chamada de lógica doxástica.

Outro verbo que possui a mesma característica do crer é o saber. A linguagem obtida acrescentando uma constante lógica para este verbo é chamada de lógica epistêmica. Entretanto, é comum chamar de epistêmica uma lógica que contenha ambas as constantes de saber e crer, ou mesmo somente o verbo crer. Além disto, existe a lógica dos desejos ou objetivos, chamada de lógica conativa, bem como a lógica da necessidade e possibilidade, chamada de lógica modal (normal).

De forma geral, todas estas lógicas são chamadas de lógicas modais ou intensivas<sup>3</sup>, sendo que suas respectivas constantes lógicas são chamadas de operadores modais ou intensivos. Um sistema lógico que contenha vários operadores modais é chamado de um sistema multi-modal.

### 2.3.1 Operadores Modais

Geralmente, a notação para um operador modal é do tipo  $O_i A$ , onde  $O$  é o operador modal em questão,  $i$  é um agente e  $A$  uma fórmula qualquer da linguagem que está relacionada com o agente  $i$  de acordo com a semântica de  $O$ . Por exemplo<sup>4</sup>:

- $Bel_i A$ : o agente  $i$  acredita em  $A$ ;
- $Des_i A$ : o agente  $i$  deseja  $A$ ;
- $Intend_i A$ : o agente  $i$  pretende ou intenciona  $A$ .

Existe uma variante do operador de crença chamada de crença mútua utilizada para representar o fato de dois agentes acreditarem no mesmo fato simultaneamente e acreditarem nesta crença mútua de forma recursiva. Geralmente, o fato de dois agentes, digamos  $i$  e  $j$ , acreditarem mutuamente em uma sentença  $A$  é denotado por  $Bel_{i,j} A$ . A definição da crença mútua é dada pela seguinte fórmula recursiva:

$$\begin{aligned} Bel_{i,j} A &= Bel_i A \wedge Bel_j A \wedge Bel_i Bel_{i,j} A \wedge Bel_j Bel_{i,j} A. \\ &= Bel_i A \wedge Bel_j A \wedge Bel_i Bel_i A \wedge Bel_i Bel_j A \wedge Bel_j Bel_j A \wedge Bel_j Bel_i A \wedge \dots \end{aligned}$$

<sup>2</sup> Geralmente, se diz que sentenças que possuem esta característica possuem contexto opaco.

<sup>3</sup> O termo em inglês é 'intensional logic' que não tem nada a haver com intenção e sim com a característica semântica apresentada por estas expressões que impedem que o princípio da extensionalidade seja aplicado às mesmas.

<sup>4</sup> Por questões de padronização, não vamos traduzir os operadores para Português, utilizando os nomes mais encontrados na literatura em geral.

Outro tipo de lógica que geralmente também é classificada como lógica modal são as lógicas que tratam de expressões em função do tempo, chamadas de lógicas temporais. Abaixo alguns exemplos de expressões de lógica temporal:

- AlwaysA: A sempre é verdade;
- SometimesA: as vezes A é verdade.

Os operadores da lógica modal (normal) são o operador de necessidade, geralmente denotado por  $\Box$ , e o operador de possibilidade, denotado por  $\Diamond$ , sendo que  $\Diamond$  pode ser definido em função de  $\Box$  ou vice-versa, por exemplo  $\Diamond A = \neg \Box \neg A$ .

### 2.3.2 Axiomas Lógicos

Os axiomas lógicos definem o comportamento dos operadores modais. Por exemplo, tomemos o caso do operador de crença. Uma regra bastante clara para este operador é a seguinte: se um agente  $i$  acredita em  $A$  e acredita que  $A$  implica  $B$  então  $i$  deve acreditar em  $B$ . O seguinte axioma expressa esta regra:

$$(\text{Bel}_i A \wedge \text{Bel}_i A \rightarrow B) \rightarrow \text{Bel}_i B.$$

Que é equivalente a

$$\text{Bel}_i(A \rightarrow B) \rightarrow (\text{Bel}_i A \rightarrow \text{Bel}_i B).$$

Geralmente, esta regra é válida para todos os operadores modais. Quando se deseja expressar esta regra para um operador qualquer, é comum se escrever:

$$\Box(B \rightarrow A) \rightarrow (\Box A \rightarrow \Box B).$$

Que é conhecido como o axioma K. Outro axioma muito comum, conhecido como a regra da necessidade, denotado por RN, é o:

$$A \rightarrow \Box A.$$

Segundo os lógicos, estes dois axiomas devem ser válidos em qualquer sistema lógico modal, sendo que uma lógica que contenha apenas os dois é chamada de sistema lógico modal mínimo. Entretanto, a regra da necessidade introduz um problema nas lógicas epistêmicas e doxásticas, chamado de problema da onisciência lógica, uma vez que, segundo esta regras, supõe-se que os agentes conheçam e acreditam em todas as fórmulas válidas do sistema.

A tabela abaixo mostra outros axiomas comuns que podem ser acrescentados a um sistema lógico de acordo com as características do problema sendo tratado.

| Nome | Esquema                                        |
|------|------------------------------------------------|
| T    | $\Box \phi \rightarrow \phi$                   |
| D    | $\Box \phi \rightarrow \Diamond \phi$          |
| 4    | $\Box \phi \rightarrow \Box \Box \phi$         |
| 5    | $\Diamond \phi \rightarrow \Box \Diamond \phi$ |

Geralmente, os sistemas lógicos são identificados por uma sequência de letras indicando os axiomas que o mesmo contém. Por exemplo, KTD é um sistema que contém os dois axiomas padrões (K e a regra da necessidade) e os axiomas T e D.

Teoricamente, com estes 4 axiomas é possível se construir até 64 sistemas. Entretanto, na prática existem apenas 11 sistemas distintos. Alguns sistemas são tão comuns que receberam alguns nomes especiais:

- KT é conhecido como T
- KT4 é conhecido como S4
- KD45 é conhecido como S5 fraco
- KD5 é conhecido como S5.

## 2.4 Aplicação no Diálogo Exemplo

A lógica pode ser utilizada para expressar as regras ou leis de um determinado domínio. Por exemplo, no domínio do nosso diálogo exemplo existem as seguintes leis:

1. O agente que vende as passagens sabe o preço das passagens de cada combinação de origem, destino e classe.
2. Todos os agentes sabem mutuamente que uma determinada passagem possui uma única combinação de origem, destino e classe.

Para expressarmos as leis de qualquer domínio, precisamos antes definir quais são os predicados e as constantes individuais daquele domínio. A tabela abaixo descreve algumas constantes do domínio do diálogo exemplo:

| Constante     | Significado                        |
|---------------|------------------------------------|
| Rio           | A cidade do Rio de Janeiro.        |
| SP            | A cidade de São Paulo.             |
| SaoJoseCampos | A cidade de São José dos Campos.   |
| Convencional  | A classe de passagem convencional. |
| Executivo     | A classe de passagem executivo.    |
| R\$150,00     | A quantia de 150 reais.            |
| R\$100,00     | A quantia de 100 reais.            |
| R\$ 85,00     | A quantia de 85 reais.             |

Enquanto a tabela seguinte mostra os predicados:

| Predicado  | Significado                               |
|------------|-------------------------------------------|
| Origem(x)  | A origem da passagem é x.                 |
| Destino(x) | O destino da passagem é x.                |
| Classe(x)  | A classe da passagem é x.                 |
| Preço(x)   | O preço da passagem é x.                  |
| x=y        | x e y são a mesma entidade <sup>5</sup> . |

Com as constantes individuais e predicados em mãos podemos definir axiomas que expressam as leis do nosso domínio. A lei 1 acima pode ser expressa através de um conjunto de axiomas como os seguintes:

1.  $\text{AlwaysBel}_s(\text{Origem}(\text{SP}) \wedge \text{Destino}(\text{Rio}) \wedge \text{Classe}(\text{Executivo}) \rightarrow \text{Preço}(\text{R\$150,00}))$
2.  $\text{AlwaysBel}_s(\text{Origem}(\text{SP}) \wedge \text{Destino}(\text{Rio}) \wedge \text{Classe}(\text{Convencional}) \rightarrow \text{Preço}(\text{R\$100,00}))$

<sup>5</sup> Este predicado será utilizado nos axiomas descritos na sequência. Alguns sistemas lógicos contêm uma constante lógica específica para representar o mesmo.

3.  $\text{AlwaysBel}_s(\text{Origem}(\text{SaoJoseCampos}) \wedge \text{Destino}(\text{Rio}) \wedge \text{Classe}(\text{Convencional}) \rightarrow \text{Preço}(\text{R\$85,00}))$
4. ...

Enquanto a lei 2 pode ser expressa através dos seguintes axiomas:

1.  $\text{AlwaysBel}_{s,u} \neg (\text{Origem}(x) \wedge \text{Origem}(y) \wedge \neg (x=y))$ .
2.  $\text{AlwaysBel}_{s,u} \neg (\text{Destino}(x) \wedge \text{Destino}(y) \wedge \neg (x=y))$ .
3.  $\text{AlwaysBel}_{s,u} \neg (\text{Classe}(x) \wedge \text{Classe}(y) \wedge \neg (x=y))$ .
4.  $\text{AlwaysBel}_{s,u} \neg (\text{Preço}(x) \wedge \text{Preço}(y) \wedge \neg (x=y))$ .

---

## 3 O Modelo BDI

O modelo BDI (Belief, Desire and Intention) descreve uma forma de tomada de decisões baseada em crenças, desejos e intenções. O seu fundamento teórico são os estudos do filósofo americano Michael Bratman formulados em [Bra87]. Nos anos que se seguiram ao trabalho de Bratman, vários artigos foram escritos por um grupo de pesquisadores, entre eles Perrault, Cohen, Allen e Levesque, que acabaram ficando conhecidos como o modelo BDI (veja [AFMR95], [CL90a], [CL90b], [CL90c] e [Per90]). Michael Wooldridge, em seu livro sobre agentes racionais (veja [Woo00]), oferece uma boa descrição da teoria BDI.

### 3.1 Conceitos Preliminares

#### 3.1.1 Agentes

De uma forma geral, entende-se por agente uma entidade que age, isto é, causa mudanças no mundo no qual ela habita, diferentemente de observadores do mundo ou entidades passivas, que são apenas alvos das ações dos outros agentes do ambiente.

No contexto de diálogos cooperativos, uma caracterização do mundo deve conter, por exemplo, as crenças de cada participante. Sendo assim, o proferimento de uma sentença por parte de um dos participantes causa mudanças no mundo, isto é, nas crenças dos outros participantes. Por exemplo, antes do proferimento  $u_1$  do diálogo exemplo, o agente  $s$  não tinha informação alguma sobre o agente  $u$ . Após  $u_1$ ,  $s$  passa a crer que  $u$  deseja uma passagem de executivo para o Rio de Janeiro, o que caracteriza uma mudança no mundo.

Portanto, os participantes em um diálogo são considerados agentes no sentido em que, as sentenças por eles proferidas, são ações que causam mudanças no mundo.

#### 3.1.2 Agentes Racionais

Agentes racionais são agentes que tomam boas decisões relativamente às suas crenças e interesses. Isto quer dizer que uma boa decisão para um agente pode não ser para outro agente que possua crenças e/ou interesses diferentes. Em [WJ95], Wooldridge e Jennings definem as seguintes propriedades de um agente racional:

- **Autonomia:** um agente racional deve ser capaz de agir independentemente do ambiente e de outros agentes. Em outras palavras, somente ele deve ter controle sobre as suas crenças, desejos e intenções.
- **Proatividade:** um agente racional deve ser orientado a objetivos, isto é, ele deve ser capaz de tomar ações para atingir os seus objetivos.
- **Reatividade:** um agente racional deve ser capaz de mudar suas crenças, desejos e intenções em função de estímulos do mundo externo (o que inclui informações transmitidas por outros agentes).

- **Abilidade Social:** é a capacidade de um agente de negociar e cooperar com outros agentes a fim de atingir os seus objetivos.

### 3.1.3 Diálogos Cooperativos

Os diálogos de interesse neste estudo são aqueles orientados a tarefa nos quais os participantes possuem objetivos em comum e cooperam entre si a fim de atingí-los.

Por exemplo, o objetivo do sistema no diálogo exemplo é vender uma passagem para o usuário, enquanto o objetivo do usuário é comprar uma passagem. Ora, estes objetivos são equivalentes, o que implica que o usuário e o sistema possuem objetivos em comum. Então o usuário e sistema cooperam entre si para realizá-lo.

Supõe-se que os agentes obedecem as seguintes máximas de conversação definidas pelo filósofo americano H.P. Grice em [Gri75]:

- Máximas de quantidade:
  1. Seja tão informativo quanto o necessário.
  2. Não seja mais informativo do que o necessário.
- Máximas de qualidade:
  3. Não diga aquilo que você acredita que não é o caso.
  4. Não diga aquilo para o qual você não possui evidências.
- Máxima de relação:
  5. Seja relevante.
- Máxima de bons modos:
  6. Evite ser obscuro.
  7. Evite ser ambíguo.
  8. Seja breve.
  9. Seja ordenado.

As máximas de Grice foram formuladas genericamente e informalmente. Uma formalização das mesmas deve levar em consideração o tipo de expressão linguística em consideração. Por exemplo, em [Gam91a] algumas máximas são redefinidas formalmente para expressões informativas da seguinte forma:

Um agente *i* comunica corretamente uma sentença *A* para um agente *j* somente se:

1. *i* acredita que *A* é verdade (máxima 3, *i* é sincero);
2. *i* acredita que *j* não acredita que *A* é verdade (máxima 2, *i* é conciso);
3. *i* acredita que *A* é relevante para se atingir os objetivos comuns (máxima 5, *i* é objetivo);
4. se *A* é uma consequência lógica de *B* (e *B* não é uma consequência lógica de *A*), então alguma das condições acima não são satisfeitas em relação a *B* (máxima 1, *i* é completo).

As 3 primeiras condições acima são fáceis de interpretar. Entretanto, a condição 4 requer um pouco mais de discussão. Na realidade, o que ela quer dizer é que um agente deve pronunciar uma sentença mais forte ao invés de uma sentença mais fraca quando ambas forem aplicáveis em determinada situação. A justificativa é que uma sentença mais forte carrega mais informação do que uma sentença mais fraca, e, neste sentido, o agente estaria sendo mais fiel à máxima 1 de Grice.

Vale a pena mostrar um exemplo para ilustrar a aplicabilidade da condição 4. Suponha que um diálogo é travado entre dois agente i e j. Suponha que seja uma crença mútua que quando chove o chão fica molhado e o trânsito fica lento, isto é:

- $Bel_{i,j}$  Choveu  $\rightarrow$  Chao\_Molhado;
- $Bel_{i,j}$  Choveu  $\rightarrow$  Transito\_Lento;

Suponha agora que o agente i acredite que

- choveu e portanto que o chão está molhado e o trânsito está lento;
- o agente j não acredita que choveu;
- o agente j não acredita que o chão está molhado.

Além disto, suponha que os tópicos chuva e estado do chão (molhado ou seco) são relevantes para o assunto em discussão entre i e j. Então, nestas condições qual a próxima sentença que o agente i deve dizer para j? Que choveu ou que o chão está molhado?

Segundo a condição 4 acima, o agente i estaria sendo mais cooperativo se ele dissesse que choveu, pois permitiria que o agente j tirasse outras conclusões além da que o chão está molhado, por exemplo que o trânsito está lento. Isto é, a sentença “choveu” é mais informativa que “o chão está molhado”.

### 3.1.4 Atitudes Mentais

Se queremos modelar agentes artificiais capazes de dialogar, é interessante observarmos o comportamento humano, já que os humanos são as entidades conhecidas que praticam a capacidade de dialogar com mais excelência.

A psicologia popular (folk psychology) explica o comportamento de uma pessoa através de suas atitudes mentais como crença, desejo, intenção, medo, esperança, conhecimento, etc. Exemplos:

1. Ação baseada em crença: Maria levou o guarda-chuva porque achou que estava chovendo.
2. Ação baseada em intenção: José estuda arduamente porque pretende defender sua tese no ano que vem.
3. Ação baseada em medo: José não nadou no rio, porque tem medo de se afogar.

Estas atitudes mentais que direcionam o comportamento das pessoas são chamadas de noções intencionais. Como será mostrado nas sub-seções 3.2 e 3.3, o modelo BDI basea-se particularmente no papel de três tipos particulares de noções intencionais que podem influenciar o comportamento de agentes racionais.: as crenças, os desejos e as intenções.



### 3.1.5 Atos de Fala (“speech acts”)

No domínio de diálogos cooperativos, o mundo a ser representado contém as atitudes mentais de todos os participantes. Neste sentido, se pensarmos que toda sentença proferida pelos participantes do diálogo causa mudanças nas atitudes mentais dos outros participantes, podemos pensar nos proferimentos como ações, na medida em que eles causam mudança no mundo.

Estas observações foram feitas pelo filósofo John Austin em [Aus62], que definiu o conceito de “speech acts”, traduzidos aqui como atos de fala, que são expressões faladas que têm o efeito de uma ação.

O trabalho de Austin foi estendido em 1969 por John Searle em [Sea69]. Searle estudou quais seriam as condições necessárias para a execução de um ato de fala. Além disto, ele identificou 5 classes de atos de fala de acordo com tipo de efeito que as mesmas causam no mundo:

1. **Atos de fala representativos:** nas quais o proferidor está comprometido com a verdade da proposição expressada. Exemplo clássico: atos de fala do tipo informativos, nas quais um agente *i* informa outro agente *j* sobre um determinado fato.
2. **Atos de fala diretivos:** nas quais o objetivo do proferido é fazer com o que o ouvinte faça algo. Exemplo clássico: solicitações.
3. **Atos de fala de comprometimento:** nas quais o proferidor se compromete a realizar uma determinada ação. Exemplo clássico: promessas.
4. **Atos de fala expressivos:** nas quais o proferidor deseja expressar algum sentido psicológico. Exemplo clássico: agradecimento.
5. **Atos de fala declarativos:** causam efeitos no mundo por si próprias. Exemplo clássico: declaração de guerra.

O tipo exato de um ato de fala é chamado de sua força de locução (do inglês “illocutionary force”). Um ato de fala será denotado por uma tupla do tipo  $\langle \text{FORCE}_{ij} A \rangle$ , onde *FORCE* é a força de locução do ato de fala, *i* é o agente proferidor, *j* é o ouvinte e *A* é o conteúdo proposicional do ato de fala. As forças de locução são:

- Inform: transmissão de informação.
- Request: solicitação de algo ou pergunta.
- Confirm: confirmação de uma informação solicitada.
- Propose: proposta para realizar uma determinada tarefa.

Esta lista de forças de locução é um sub-conjunto de uma lista maior definida por uma especificação de padrões de comunicação entre agentes formulada pela Fundação para Agentes Físicos Inteligentes (FIPA – Foundation for Intelligent Physical Agents) em [FIPA99].

Vale pena fazer uma observação aqui sobre o relacionamento entre o conceito de um ato de fala e os proferimentos dos agentes no decorrer do diálogo. Um determinado proferimento de um agente pode conter mais de um ato de fala. Podemos então definir formalmente um proferimento como um conjunto de atos de fala.

A Figura 2 mostra a tradução dos proferimentos do nosso diálogo exemplo para nossa notação formal em termos de atos de fala.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $s_1 = \{ \langle \text{Propose}_{s,u} \text{ VenderPassagem} \rangle \}$<br>$u_1 = \{ \langle \text{Inform}_{u,s} \text{ Destino(Rio)}^{\wedge} \text{Classe(Executiva)} \rangle \}$<br>$s_2 = \{ \langle \text{Inform}_{s,u} \text{ Preço(R\$ 150,00)} \rangle \}$<br>$u_2 = \{ \langle \text{Inform}_{u,s} \text{ Classe(Convencional)} \rangle \}$<br>$s_3 = \{ \langle \text{Inform}_{s,u} \text{ Preço(R\$ 100,00)} \rangle \}$<br>$u_3 = \{ \langle \text{Inform}_{u,s} \text{ Origem(SaoJoseCampos)} \rangle \}$<br>$s_4 = \{ \langle \text{Inform}_{s,u} \text{ Preço(R\$ 85,00)} \rangle \}$<br>$u_4 = \{ \langle \text{Inform}_{s,u} \text{ Preço(R\$80,00)} \rangle, \langle \text{Request}_{s,u} \text{ FormaPagamento(Cartão)} \rangle \}$<br>$s_5 = \{ \langle \text{Inform}_{s,u} \text{ Preço(R\$80,00)} \rangle, \langle \text{Inform}_{s,u} \text{ Preço(R\$85,00)} \rangle, \langle \text{Confirm}_{s,u} \text{ FormaPagamento(Cartão)} \rangle \}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Figura 2 - Tradução dos Proferimentos do Diálogo Exemplo**

### 3.1.6 A Dinâmica de um Diálogo

Os pesquisadores Cohen e Perraut em [CP79] oferecem um modelo para dinâmica em diálogos baseados em atos de fala e técnicas desenvolvidas no campo de planejamento em inteligência artificial. Cohen e Perrault identificaram que um ato de fala deve possuir um conjunto de condições prévias e um conjunto de efeitos, chamados de efeitos indiretos. Além disto, eles mostraram como estas condições podem ser formalizadas através do uso de lógicas multi-modais.

As condições prévias e os efeitos indiretos de um ato de fala dependem da natureza de sua força de locução e das premissas sendo consideradas. Por exemplo, como queremos tratar apenas de diálogos cooperativos, as condições prévias para o ato de fala  $\langle \text{Inform}_{i,j} A \rangle$  são

- $\text{Bel}_i A$ , pois supõe-se que  $i$  é sincero, isto é,  $i$  não fala aquilo em que ele não crê.
- $\text{Bel}_{i \neg} \text{Bel}_j A$ , pois supõe-se que  $i$  é conciso, isto é,  $i$  não fala mais do que é necessário.

Já os efeitos indiretos da mesma são  $\text{Bel}_j \text{Bel}_i A$  e  $\text{Bel}_i \text{Bel}_j \text{Bel}_i A$ .

## 3.2 A Teoria do Raciocínio Prático

O principal objeto de estudo de Bratman foi o processo de raciocínio prático aplicado pelos seres humanos em suas situações corriqueiras que os levam a tomar determinadas ações e não outras. Particularmente, Bratman atenta para o fato de que as pessoas não tentam tomar ações para atingir todos os seus desejos a cada momento. Ao invés disto, as pessoas escolhem alguns dos seus desejos e se inclinam a realizá-los, concentrando nos mesmos os seus recursos disponíveis. Segundo Bratman, este sub-conjunto menor de desejos seriam as intenções das pessoas.

Neste sentido, as intenções têm um papel importante no processo de tomada de decisão, restringindo a quantidade de opções a serem consideradas a cada momento. Por exemplo, o agente  $u$  no diálogo exemplo deve possuir inúmeros desejos. Entretanto, durante a execução do diálogo, ele escolheu um deles, o de comprar uma passagem de ônibus, e se dispõe a realizá-lo, tomando ações em direção ao mesmo, por exemplo informando ao vendedor o destino e a classe de ônibus desejada.

Em [Woo00], Wooldridge compara este processo de tomada de decisão baseado em intenções com a perspectiva puramente matemática da teoria da decisão. A teoria da decisão oferece uma forma de tomada de decisão na qual um agente deve escolher a melhor opção a cada momento. Entretanto, para calcular esta melhor opção, um agente deve conhecer todas as consequências de cada ação possível e saber avaliar a qualidade de cada uma delas. Infelizmente, em ambientes mais complexos, como o de um diálogo, seria computacionalmente inviável realizar todos estes cálculos.

### 3.3 O Comportamento dos Agentes segundo suas Crenças, Desejos e Intenções

Segundo o modelo BDI, as crenças de um agente são as informações que o agente possui sobre o mundo. Informações estas que podem estar incompletas e/ou incorretas. Os desejos são os estados do mundo que o agente gostaria de obter. As intenções são os desejos que o agente está inclinado a obter.

O conjunto das crenças, desejos e intenções de um agente é chamado de o estado mental do agente. Por exemplo, vamos definir um estado mental para o agente  $u^6$  de nosso diálogo exemplo que explique, de acordo com o modelo BDI, o seu comportamento no decorrer do diálogo. Suponha que antes de começar o diálogo o estado mental do agente  $u$  contenha as seguintes atitudes mentais:

- $Des_u \text{ Destino(Rio)}$
- $Des_u \text{ Classe(Executivo)}$ ;
- $Des_u \text{ Preço}(\leq R\$120,00)$ ;
- $Des_u \text{ Origem(SaoJoseCampos)}$ ;
- $Bel_u \neg Bel_s \text{ Des}_u \text{ Destino(Rio)}$ ;
- $Bel_u \neg Bel_s \text{ Des}_u \text{ Classe(Executivo)}$ .

Percebe-se que o estado mental que definimos não contém intenções, somente desejos e crenças. Isto foi feito de propósito para evidenciar o processo de deliberação, no qual um agente escolhe um sub-conjunto de seus desejos como suas intenções.

Uma das formas de implementação do processo de deliberação é através da aplicação de axiomas que devem um comportamento racional para o agente em determinadas circunstâncias. Por exemplo, suponha que o seguinte axioma faça parte de nosso modelo BDI:

- $Des_i A \wedge Bel_i \neg Bel_j \text{ Des}_j A \rightarrow Intend_i Bel_j \text{ Des}_j A$ .

Isto é, se um agente  $i$  deseja  $A$  e acredita que outro agente  $j$  não acredita que ele deseja  $A$ , é racional que o agente  $i$  tenha a intenção de fazer com que o agente  $j$  acredite que ele deseja  $A$ . Logo, o processo de deliberação, aplicando este axioma, causaria que o agente  $u$  acrescentasse ao seu estado mental as seguintes intenções:

- $Intend_u Bel_s \text{ Des}_u \text{ Destino(Rio)}$ ;
- $Intend_u Bel_s \text{ Des}_u \text{ Classe(Executivo)}$ .

---

<sup>6</sup> Apesar de estar usando o agente “natural” para ilustrar o modelo BDI, os mesmos princípios são aplicados ao agente artificial.

O próximo passo do agente  $u$  é tomar uma ação em função de suas intenções. Este processo é objeto de estudo da área de planejamento e também está fora do escopo deste relatório. Neste caso, esta ação resultante seria realizar o proferimento  $u_1$ .

Após isto, é racional que o agente  $u$  observe o mundo externo a fim de verificar as consequências de sua ação tomada. Esta fase é chamada de percepção, após a qual acontece o processo de atualização do seu estado mental em função do acontecimento percebido no mundo externo. Por exemplo, após o proferimento  $s_2$ , o agente  $u$  deverá conter a seguinte crença em seu estado mental:

- $Bel_u \text{Preço}(\text{R\$}150,00)$ .

O processo que resultou na adição desta nova crença ao estado mental de  $u$  é chamado de mudança de crenças e é o objeto de estudo deste relatório. Além da adição de novas crenças, faz parte da tarefa de mudança de crenças eliminar as crenças antigas incompatíveis com a nova informação recebida do mundo externo. As próximas seções discutem as condições nas quais as informações novas são adicionadas às crenças dos agentes bem como as condições nas quais as informações antigas são preservadas ou eliminadas.

Após atualizadas as suas crenças, o agente  $u$  volta ao passo de deliberação recomeçando um ciclo que deve acontecer até que ambos os agentes  $s$  e  $u$  tenham alcançados seus objetivos (ou até que um deles desista).

Resumindo, através deste exemplo mostramos como as crenças, desejos e intenções podem direcionar o comportamento de um agente racional através dos seguintes processos:

- Percepção;
- Mudança de crenças;
- Deliberação;
- Planejamento.

---

## 4 Um Sistema Lógico Multi-Modal para Diálogos

O sistema lógico apresentado aqui para modelar diálogos é baseado na proposta de [HL00a]. Vamos chamar de  $L$  a linguagem lógica deste sistema.  $L$  é uma linguagem de lógica de predicado de primeira ordem multi-modal, conforme descrito nas seções 2.2 e 2.3.

### 4.1 Definição dos Operadores e Constantes da Linguagem

Além das constantes lógicas apresentadas na seção 2.2,  $L$  contém a constante  $\top$ , chamada de topo da linguagem ou simplesmente de verdade, que é uma constante cuja valoração é sempre verdade.  $L$  também contém a constante  $\perp = \neg \top$ , chamada de falso. As constantes individuais e predicados de  $L$  são aqueles definidos na seção 2.4.

AGT é o conjunto dos agentes participantes no diálogo e ACT é o conjunto dos atos de fala proferidos. Sejam  $i, j \in \text{AGT}$ ,  $A$  uma fórmula qualquer de  $L$  e  $\alpha \in \text{ACT}$ .  $L$  contém os seguintes operadores modais:

- $\text{Bel}_i A$ : o agente  $i$  acredita que  $A$ ;
- $\text{Bel}_{i,j} A$ : os agentes  $i$  e  $j$  acreditam mutuamente que  $A$ ;
- $\text{Intend}_i A$ : o agente  $i$  pretende  $A$ ;
- $\text{Done}_\alpha A$ : o ato de fala  $\alpha$  foi realizado antes do qual  $A$  era verdade;
- $\text{Feasible}_\alpha A$ : o ato de fala  $\alpha$  é viável, sendo que, depois da eventual ocorrência do mesmo,  $A$  será verdade;
- $\text{Always} A$ :  $A$  sempre é verdade;
- $\text{Sometimes} A$ :  $A$  as vezes é verdade.

### 4.2 Axiomas Lógicos

#### 4.2.1 Operador de Crença

Ao operador modal de crença, é associado o conjunto de axiomas KD45, definidos na seção 2.3.2. Logo, temos os seguintes axiomas<sup>7</sup>:

- $\text{RN}_{\text{Bel}}$ :  $A \rightarrow \text{Bel}_i A$ ;
- $\text{K}_{\text{Bel}}$ :  $(\text{Bel}_i A \wedge \text{Bel}_i A \rightarrow B) \rightarrow \text{Bel}_i B$ ;
- $\text{D}_{\text{Bel}}$ :  $\text{Bel}_i A \rightarrow \neg \text{Bel}_i \neg A$ ;

---

<sup>7</sup> O leitor atento deve perceber que estes axiomas estão escritos de uma forma diferente do que foi apresentado na seção 2.3.2. Na realidade, esta diferença vem do fato de que, naquela seção, os axiomas foram expressos usando dois operadores  $\text{e}$  e  $\Diamond$ , e aqui estamos usando apenas o  $\text{Bel}$ . É deixada para o leitor a tarefa de verificar a correção destes axiomas (use o fato de que  $\Diamond$  pode ser expresso em função  $\neg$ ).

- $4_{\text{Bel}}: \text{Bel}_i A \rightarrow \text{Bel}_i \text{Bel}_i A;$
- $5_{\text{Bel}}: \neg \text{Bel}_i A \rightarrow \text{Bel}_i \neg \text{Bel}_i A.$

Como foi dito na seção 2.3.2, RN e K são axiomas padrões em qualquer sistema lógico modal. O axioma D aplicado ao operador Bel, denotado por  $D_{\text{Bel}}$ , é chamado de axioma da racionalidade no nosso domínio de aplicação e é explicado da seguinte forma: se um agente  $i$  acredita em  $A$  ele não deve acreditar na negação de  $A$ . Os axiomas  $4_{\text{Bel}}$  e  $5_{\text{Bel}}$  podem ser explicados como axiomas da introspecção de um agente.

É interessante notar que o axioma T realmente não poderia ser aplicado ao operador de crença, pois teríamos  $\text{Bel}_i A \rightarrow A$ , o que não é o caso, já que o fato de um agente  $i$  acreditar em  $A$  não quer dizer que  $A$  é verdade.

#### 4.2.2 Operador de Crença Mútua

De forma semelhante ao operador de crença, o operador de crença mútua possui os axiomas KD45. Além disto, supõe-se que uma crença mútua implica crença em ambos os agentes, isto é

- $\text{Bel}_{i,j} A \rightarrow (\text{Bel}_i A \wedge \text{Bel}_j A).$

#### 4.2.3 Operador de Intenção

O operador de intenção possui os axiomas KD, denotados por  $K_{\text{Intend}}$ ,  $\text{RN}_{\text{Intend}}$  e  $D_{\text{Intend}}$ .

#### 4.2.4 Operadores de Ação (Done e Feasible)

Os operadores Done e Feasible obedecem a lógica modal (normal) mínima, isto é possuem os operadores K e RN, denotados por  $K_{\text{Done}}$ ,  $\text{RN}_{\text{Done}}$ ,  $K_{\text{Feasible}}$  e  $\text{RN}_{\text{Feasible}}$ . Além destes, são dados os seguintes axiomas<sup>8</sup>:

- $\text{DC}_{\text{Done}}: \text{Done}_\alpha A \rightarrow \neg \text{Done}_\alpha \neg A;$
- $\text{DC}_{\text{Feasible}}: \text{Done}_\alpha A \rightarrow \neg \text{Done}_\alpha \neg A.$

Que expressam o fato de que cada ato de fala  $\alpha$  é determinístico, isto é temos um único estado do mundo antes de  $\alpha$  ocorrer e outro após  $\alpha$  ocorrer.

#### 4.2.5 Operadores Temporais

O operador Always possui os axiomas KT4, denotados por  $K_{\text{Always}}$ ,  $T_{\text{Always}}$  e  $4_{\text{Always}}$ . Percebe-se que neste caso realmente é adequado aplicar o operador T, pois  $\text{Always} A \rightarrow A$ , isto é, se  $A$  é sempre verdade,  $A$  é verdade neste momento.

O operador Sometimes é definido em função de Always como  $\text{Sometimes} A = \neg \text{Always} \neg A$ , e portanto possui axiomas lógicos consequentes de  $K_{\text{Always}}$ ,  $T_{\text{Always}}$  e  $4_{\text{Always}}$ .

---

<sup>8</sup> Estes axiomas recebem o prefixo DC pois eles expressam o contrário do axioma D.

## 4.3 Leis

As leis, ou regras, de um determinado domínio de aplicação também são expressadas através de axiomas, chamados de axiomas não lógicos. No nosso diálogo exemplo são definidos 3 conjuntos de leis: leis estáticas, leis que governam os atos de fala e leis de reação.

### 4.3.1 Leis Estáticas

As leis estáticas são as regras que não podem ser alterados no decorrer do diálogo e são aquelas definidas na seção 2.4:

1.  $\text{AlwaysBel}_s(\text{Origem}(\text{SP}) \wedge \text{Destino}(\text{Rio}) \wedge \text{Classe}(\text{Executivo}) \rightarrow \text{Preço}(\text{R\$150,00}))$
2.  $\text{AlwaysBel}_s(\text{Origem}(\text{SP}) \wedge \text{Destino}(\text{Rio}) \wedge \text{Classe}(\text{Convencional}) \rightarrow \text{Preço}(\text{R\$100,00}))$
3.  $\text{AlwaysBel}_s(\text{Origem}(\text{SaoJoseCampos}) \wedge \text{Destino}(\text{Rio}) \wedge \text{Classe}(\text{Convencional}) \rightarrow \text{Preço}(\text{R\$85,00}))$
4.  $\text{AlwaysBel}_{s,u} \neg(\text{Origem}(x) \wedge \text{Origem}(y) \wedge \neg(x=y)).$
5.  $\text{AlwaysBel}_{s,u} \neg(\text{Destino}(x) \wedge \text{Destino}(y) \wedge \neg(x=y)).$
6.  $\text{AlwaysBel}_{s,u} \neg(\text{Classe}(x) \wedge \text{Classe}(y) \wedge \neg(x=y)).$
7.  $\text{AlwaysBel}_{s,u} \neg(\text{Preço}(x) \wedge \text{Preço}(y) \wedge \neg(x=y)).$

### 4.3.2 Leis que Governam os Atos de Fala

Os atos de fala causam efeitos no estado mundo de acordo com suas condições prévias e posteriores, conforme foi discutido na seção 3.1.6. Podemos expressar estes efeitos através de axiomas como o seguinte:

- $\text{Done}_{\langle \text{Inform}_{j,i} A \rangle} \tau \rightarrow \text{Bel}_j \text{Bel}_i A.$

### 4.3.3 Leis Reativas

Leis reativas geram as intenções dos agentes no decorrer do diálogo, por exemplo:

- $\text{Bel}_i(A \wedge \text{Bel}_j \neg A) \rightarrow \text{Intend}_i \text{Bel}_j A;$
- $(\text{Bel}_i A \wedge \text{Done}_{\langle \text{Inform}_{j,i} A \rangle} \text{Bel}_i \neg A) \rightarrow \text{Intend}_i \text{Bel}_j \text{Bel}_i A.$

A primeira lei nos diz que se um agente  $i$  acredita em  $A$  e acredita que outro agente  $j$  acredita na negação de  $A$ , então  $i$  deve pretender que  $j$  passe a acreditar em  $A$ . A segunda lei nos diz que se um agente  $i$  acreditava na negação de  $A$  antes de outro agente  $j$  lhe informar  $A$  e agora  $i$  acredita em  $A$ , então  $i$  deve pretender que  $j$  acredite que agora  $i$  acredita em  $A$ .

---

## 5 O Problema da Mudança de Crenças

Formalmente, um diálogo é uma sequência do tipo  $\langle S_0, \alpha_1, S_1, \dots, \alpha_n, S_n \rangle$ , onde  $S_0$  é o estado do mundo antes do diálogo começar e cada  $S_k$  ( $1 \leq k \leq n$ ) representa o estado do mundo após o proferimento do ato de fala  $\alpha_k$ . No domínio de diálogos cooperativos, podemos pensar no estado mundo como o conjunto de todas as atitudes mentais de todos os agentes participantes no diálogo.

O processo de definição do estado  $S_k$  a partir do estado  $S_{k-1}$  após proferido o ato de fala  $\alpha_k$  é chamado de mudança de crença. Os principais desafios deste processo são:

- Resolver as contradições entre o estado anterior e a informação nova recebida.
- Preservar as informações do estado antigo que não são afetadas pela entrada.

A dinâmica dos atos de fala descrita na seção 3.1.6 oferece uma proposta preliminar de como o estado do mundo deve evoluir no decorrer de um diálogo através dos efeitos indiretos de cada ato de fala proferida. Entretanto, somente os efeitos indiretos não oferece uma dinâmica suficiente em diálogos mais complexos. Isto nos sugere que o processo de mudança de crenças requer outros mecanismos além dos efeitos indiretos de  $\alpha_k$ .

Por exemplo, considere o seguinte trecho do nosso diálogo exemplo:

$$\begin{aligned} s_2 &= \{ \langle \text{Inform}_{s,u} \text{Preço}(\text{R\$ } 150,00) \rangle \} \\ u_2 &= \{ \langle \text{Inform}_{u,s} \text{Classe}(\text{Convencional}) \rangle \} \\ s_3 &= \{ \langle \text{Inform}_{s,u} \text{Preço}(\text{R\$ } 100,00) \rangle \} \end{aligned}$$

A partir das condições prévias do ato de fala do proferimento  $s_2$  podemos concluir que o sistema acredita que o preço da passagem é R\$150,00. Isto é

(i)  $\text{Bel}_s \text{Preço}(\text{R\$ } 150,00)$ .

O efeito indireto do ato de fala do proferimento  $u_2$  é fazer com que o sistema acredite que o usuário acredita que a classe é convencional. Isto é

(ii)  $\text{Bel}_s \text{Bel}_u \text{Classe}(\text{Convencional})$ .

Agora, o ato de fala do proferimento  $s_3$  tem como condição prévia que o sistema acredite que o preço da passagem é R\$100,00. Ou seja

(iii)  $\text{Bel}_s \text{Preço}(\text{R\$ } 100,00)$ .

O que certamente não é efeito indireto do ato de fala proferida. Então, como podemos explicar formalmente o fato de que (iii) é verdade após o proferimento  $s_3$ ?

Além disto, pela lei 2, definida na seção 2.4, (i) e (iii) são inconsistentes, logo também podemos concluir que o estado mundo após o proferimento  $s_3$  não contém (i). Ou seja, (i) não foi preservado após o proferimento  $s_3$ . Como podemos explicar este fato?



As sub-seções seguintes fazem um breve comentário sobre algumas abordagens para o problema de mudança de crenças.

## 5.1 O Modelo AGM

Pode-se dizer que, atualmente, o modelo AGM, formulado em 1985 por Alchourrón, Gärdenfors e Makinson, é o modelo padrão mais reconhecido para o problema de mudança de crenças. Neste modelo, foi definido o operador  $\circ$  que gera o novo estado  $SoA$  a partir do estado anterior  $S$  e de uma entrada  $A$ .

Herzig e Longin ([HL00a]) apontam dois problemas na utilização do modelo AGM em sistemas diálogos interativos. O primeiro deles é que o modelo AGM foi definido para tratar lógicas clássicas. Desde a sua criação não foram realizados estudos formais do comportamento do mesmo com lógicas modais. Em [Fuh89], Fuhrmann conclui que os postulados do modelo AGM precisam ser enfraquecidos para tratar operadores modais. Como foi visto na seção 2.3, o uso de lógicas modais se mostra adequado para modelar atitudes mentais de agentes, o que é o caso no tipo de aplicação que temos em mente. Por exemplo, em um sistema de diálogos, um agente deve ser capaz de manter suas próprias crenças enquanto raciocina sobre as crenças dos outros agentes.

O outro problema identificado por Herzig e Longin é que o modelo AGM possui alguns postulados não aplicáveis no domínio de diálogos. Por exemplo, segundo o modelo AGM, as informações novas da entrada sempre possuem prioridade sobre as informações antigas, isto é  $SoA \rightarrow A$ . Ora, em um diálogo cooperativo nem sempre um agente deve aceitar o que é dito pelo outro. Por exemplo, o proferimento  $u_4$  sugere que o preço da passagem é R\$80,00, entretanto o agente  $s$  não aceita esta crença.

Em [Was00], Wassermann faz uma análise do modelo AGM do ponto de vista da viabilidade computacional de implementação. Segundo Wassermann:

“... a teoria AGM oferece um modelo bastante elegante para tratar revisão de crenças. Entretanto, ela apresenta alguns problemas se estamos procurando uma abordagem realística que possa eventualmente ser implementada.”;

“... a utilização de conjuntos de crenças para representar estados de crença significa que, em geral, temos que tratar conjuntos infinitos, o que, obviamente, não é adequado para implementações computacionais.”;

“... quando uma informação nova é acrescentado ao conjunto de crenças, deve-se realizar uma verificação de consistência em todo o conjunto para evitar o risco de perder a informação, o que é uma operação bastante cara.”.

## 5.2 A Abordagem de Cohen e Levesque

Em [CL90a] e [CL90c], Cohen e Levesque elaboram uma teoria formal para interação entre agentes na qual um agente  $i$  deve aceitar uma informação de outro agente  $j$ , se  $j$  é considerado sincero. Além disto, segundo a teoria de Cohen e Levesque, as informações do agente  $i$  que não são afetadas pela nova informação recebida de  $j$  devem ser descartadas.

Este modelo apresenta dois problemas:

1. Se o agente proferidor é considerado insincero, não há evolução alguma no estado mental do agente ouvinte. Entretanto, mesmo mentiras causam mudanças nas crenças do agente ouvinte (por exemplo, o agente ouvinte passa a acreditar que o agente proferidor não é sincero sobre aquele tópico).
2. O comportamento do agente em relação às crenças antigas, chamado de mudança de crença trivial, simplifica o processo, já que as crenças antigas não são mantidas. Entretanto, este comportamento não é adequado em muitas situações práticas, por exemplo em nosso diálogo exemplo o sistema não seria capaz de manter as crenças sobre o destino da passagem após o proferimento  $u_2$ .

### **5.3 A Abordagem de Perrault**

No modelo apresentado por Perrault em [Per90], um agente  $i$  aceita uma nova informação  $A$  de um agente  $j$  se e somente se o agente  $i$  não acredita em  $\neg A$ . Esta abordagem apresenta dois problemas. O primeiro é que se o agente  $i$  não possui informação alguma sobre  $A$ , ele sempre aceita  $A$  indiscriminadamente, o que pode não ser adequado em determinados domínios. O outro problema é que crenças antigas nunca são revisadas, isto significa que os agentes não devem se enganar ou mudar de idéia. Por exemplo, em nosso diálogo exemplo o agente  $s$  não seria capaz de atualizar sua informações sobre a classe de ônibus desejada após o proferimento  $u_2$ .

---

## 6 Mudança de Crença baseada em Tópicos

Intuitivamente, a solução proposta por Herzig e Longin para mudança de crenças parte dos seguintes princípios:

1. Um agente  $i$  acredita na sentença  $A$  pronunciada pelo agente  $j$ , se  $j$  é competente sobre o assunto de  $A$ .
2. Uma crença  $A$  de um agente  $i$  somente deve sofrer alterações após um ato de fala  $\alpha$ , se  $A$  está dentro do escopo de  $\alpha$ .

Aqui, Herzig e Longin introduzem 3 novos conceitos: o assunto de uma fórmula, a competência de um agente e o escopo de um ato de fala. Estes conceitos são formalizados através do uso de tópicos que são definidos na sub-seção seguinte.

### 6.1 Tópicos

O conceito de tópicos tem sido estudado tanto pelos linguistas como pelos filósofos. Por exemplo, em [Bur95], temos a seguinte definição para o tópico de uma sentença em um discurso:

“O tópico não é apenas uma parte da informação selecionada arbitrariamente. Ele é entendido como a entidade à qual o resto da sentença se refere, ou como a entidade que relaciona a sentença com o discurso anterior.”

Em [HL00a], Herzig e Longin sugerem que os tópicos sejam contextualizados pelas atitudes mentais dos agentes. O objetivo desta contextualização é associar diferentes tópicos a sentenças que tratam do mesmo tema relacionados com diferentes atitudes mentais. Por exemplo, sejam as seguintes sentenças:

1. O preço da passagem é R\$85,00.
2. O usuário acredita que o preço da passagem é R\$80,00.
3. O sistema acredita que o usuário acredita que o preço da passagem é R\$80,00.

As 3 sentenças acima são sobre o tema preço da passagem. Entretanto, existe uma diferença semântica visível entre elas que pode ser expressada da seguinte forma: a sentença 1 é sobre o preço real da passagem, enquanto a sentença 2 é sobre o que o usuário pensa sobre o preço da passagem, já a sentença 3 é sobre o que o sistema pensa sobre o que o usuário pensa sobre o preço da passagem.

Para formalizar este conceito de contextualização de tópicos, Herzig e Longin introduzem os conceitos de tema, contexto e tópicos, descritos nas sub-seções seguintes.

## 6.1.1 Contextualização de Tópicos

### 6.1.1.1 Tema

Seguindo o espírito de Buring, um tema é a entidade sobre a qual uma sentença se refere. O conjunto de temas considerado em um diálogo é denotado por  $\tau$ , sendo que  $\tau \neq \emptyset$ , isto é, todo diálogo cooperativo deve ter pelo menos um tema sendo considerado. No diálogo exemplo temos:

$$\tau = \{\text{classe, preço, destino, origem}\}.$$

### 6.1.1.2 Contexto

Contextos são as atitudes mentais dos agentes nas quais os temas são abordados. Uma sentença, como a sentença 1 acima, pode não referenciar atitude mental alguma. Nestes casos, diz-se que o contexto da mesma é vazio e será denotado por  $\lambda$ .

Quando uma sentença se refere à atitude mental de um único agente, como a sentença 2 acima, diz-se que o contexto da mesma é atômico e será denotado por  $ma_i$  onde  $i$  é o agente cuja atitude mental a sentença referencia. Por exemplo, o contexto da sentença 2 acima é  $ma_u$ .

Sentenças como a sentença 3 acima possuem contextos compostos que são denotados por uma sequência de contextos atômicos separados por  $:$ . Por exemplo, o contexto da sentença 3 é denotado por  $ma_s:ma_u$ .

Formalmente, um contexto é definido da seguinte forma: seja  $i \in AGT$ . O contexto atômico relacionado com a atitude mental de  $i$  é denotado por  $ma_i$ . Então um contexto é uma sequência, possivelmente vazia, de contextos atômicos. O contexto vazio é denotado por  $\lambda$ .

Se um contexto encadeia as atitudes mentais de um mesmo agente consecutivamente, podemos simplificá-lo da seguinte forma

$$ma_i:ma_i = ma_i, \text{ onde } i \in AGT.$$

O que se pode chamar de postulado da introspecção, que se baseia no fato de que o eu penso sobre o que eu penso está contido no que eu penso.

O conjunto de todos os contextos possíveis em um diálogo será denotado por  $C$ . Percebe-se que  $C$  é infinito mesmo em diálogos com 2 participantes como no nosso diálogo exemplo. Entretanto, por questões práticas, pode-se limitar o tamanho dos contextos de acordo com a aplicação. Por exemplo, podemos supor que em nosso diálogo exemplo, somente nos interessam contexto com tamanho máximo 2. Com esta suposição, em nosso diálogo exemplo

$$C = \{\lambda, ma_s, ma_u, ma_s:ma_u, ma_u:ma_s\}.$$

### 6.1.1.3 Tópico

Um tópico é um tema associado a um contexto e será denotado por  $c:t$ , onde  $c \in C$  e  $t \in \tau$ . Vamos convencionar que  $\lambda:t = t$ . O conjunto de todos os tópicos possíveis em um diálogo será denotado por  $T$ .

## 6.2 O Assunto de um Fórmula

Seja  $A$  uma fórmula de  $L$ . O assunto de  $A$  é o conjunto de tópicos relacionados com  $A$ . Formalmente, o assunto é uma função que mapeia a cada fórmula de  $L$  um subconjunto de  $T$ . Isto é

$\text{assunto}(A) = X$ , onde  $A$  é uma fórmula de  $L$  e  $X \subseteq T$ .

Herzig e Longin propõem algumas axiomas que descrevem certas características da função assunto. As sub-seções seguintes descrevem estes axiomas.

### 6.2.1 O Assunto de uma Fórmula Atômica

Se  $p$  é uma fórmula atômica de  $L$ , então

- (i)  $\text{assunto}(p) \subseteq \tau$ ;
- (ii)  $\text{assunto}(p) \neq \emptyset$ .

Este axioma diz que o contexto dos tópicos pertencentes ao assunto de uma fórmula atômica de  $L$  é vazio. Além disto, ele afirma que toda fórmula atômica de  $L$  deve conter pelo menos um tópico associado.

Por exemplo, seja  $A = \text{Classe}(\text{Executivo})$  uma fórmula atômica de  $L$ . Seria correto afirmar que  $\text{assunto}(A) = \{\text{classe}\}$ . Entretanto, seria incorreto dizer que  $\text{assunto}(A) = \{\text{ma}_u:\text{classe}\}$ .

Uma forma intuitiva de definir o assunto de uma fórmula atômica  $p$  é tomar o predicado da mesma. No nosso diálogo exemplo, podemos definir os assuntos das fórmulas atômicas da seguinte forma:

- $\text{assunto}(\text{Classe}(x)) = \{\text{classe}\}$ ;
- $\text{assunto}(\text{Origem}(x)) = \{\text{origem}\}$ ;
- $\text{assunto}(\text{Destino}(x)) = \{\text{destino}\}$ ;
- $\text{assunto}(\text{Preço}(x)) = \{\text{preço}\}$ .

### 6.2.2 O Assunto de $T$

$T$  é uma constante da linguagem tal que toda valoração de  $T$  é verdade. Então

$\text{assunto}(T) = \emptyset$ .

Este axioma tem significado apenas matemático.

### 6.2.3 O Assunto de uma Negação

Se  $A$  é uma fórmula de  $L$ , então

$\text{assunto}(\neg A) = \text{assunto}(A)$ .

Isto é, o fato de se negar uma sentença  $A$  não acrescenta nem remove tópicos do assunto da mesma.

### 6.2.4 O Assunto de uma Conjunção

Se  $A$  e  $B$  são fórmulas de  $L$ , então

$\text{assunto}(A \wedge B) = \text{assunto}(A) \cup \text{assunto}(B)$ .

Por exemplo,  $\text{assunto}(\text{Destino}(\text{Rio}) \wedge \text{Classe}(\text{Executiva})) = \{\text{classe}, \text{preço}\}$ .

É interessante notar que, diferentemente do que se poderia pensar a princípio, o assunto de uma contradição (ou de uma tautologia) não é vazio. Por exemplo

$$\begin{aligned}\text{assunto}(A \wedge \neg A) &= \text{assunto}(A) \cup \text{assunto}(\neg A) \\ &= \text{assunto}(A) \cup \text{assunto}(A) \\ &= \text{assunto}(A).\end{aligned}$$

É fácil mostrar que os assuntos de uma disjunção, implicação e equivalência de duas sentenças A e B são todos iguais ao assunto da conjunção de A e B.

### 6.2.5 O Assunto de uma Crença

Se A é uma fórmula de L e  $i \in \text{AGT}$ , então

$$\text{assunto}(\text{Bel}_i A) = \{\text{mai:c:t} \mid \text{c:t} \in \text{assunto}(A)\}.$$

Isto é, o assunto da crença em A do agente i é obtido tomando-se os mesmos tópicos do assunto de A e acrescentando-lhes a atitude mental de i. Alguns exemplos:

1.  $\text{assunto}(\text{Classe}(\text{Executivo})) = \{\text{classe}\};$
2.  $\text{assunto}(\text{Bel}_u \text{Classe}(\text{Executivo})) = \{\text{ma}_u:\text{classe}\};$
3.  $\text{assunto}(\text{Bel}_s \text{Bel}_u \text{Classe}(\text{Executivo})) = \{\text{ma}_s:\text{ma}_u:\text{classe}\};$

### 6.2.6 O Assunto de uma Crença Mútua

Se A é uma fórmula de L e  $i,j \in \text{AGT}$ , então

$$\begin{aligned}\text{assunto}(\text{Bel}_{i,j} A) &= \text{assunto}(\text{Bel}_i A) \cup \\ &\quad \text{assunto}(\text{Bel}_j A) \cup \\ &\quad \text{assunto}(\text{Bel}_i \text{Bel}_{i,j} A) \cup \\ &\quad \text{assunto}(\text{Bel}_j \text{Bel}_{i,j} A).\end{aligned}$$

Como era de se esperar, o assunto de uma crença mútua é infinito. Por exemplo, o  $\text{assunto}(\text{Bel}_{s,u} \text{Destino}(\text{Rio})) = \{\text{ma}_s:\text{destino}, \text{ma}_u:\text{destino}, \text{ma}_s:\text{ma}_s:\text{destino}, \text{ma}_s:\text{ma}_u:\text{destino}, \text{ma}_u:\text{ma}_s:\text{destino}, \text{ma}_u:\text{ma}_u:\text{destino}, \dots\}.$

### 6.2.7 O Assunto de uma Intenção

Se A é uma fórmula de L e  $i \in \text{AGT}$ , então

$$\text{assunto}(\text{Intend}_i A) = \text{assunto}(\text{Bel}_i A).$$

Este axioma que o assunto de uma intenção é o mesmo assunto de uma crença. Colocando isto de uma forma genérica, todas as atitudes mentais sobre uma determinada fórmula possuem o mesmo assunto.

### 6.2.8 O Assunto de uma Ação Realizada

Se A é uma fórmula de L e  $\alpha = \langle \text{FORCE}_{i,j} B \rangle \in \text{ACT}$ , então

$$\text{assunto}(\text{Done}_\alpha A) = \text{assunto}(A) \cup \text{assunto}(B).$$

É trivial verificar que  $\text{assunto}(\text{Feasible}_\alpha A) = \text{assunto}(\text{Done}_\alpha A).$

### 6.2.9 O Assunto de uma Quantificação Universal

Se A é uma fórmula de L, então:

$$\text{assunto}(\forall x A) = \text{assunto}(A).$$

O que implica que  $\text{assunto}(\exists x A) = \text{assunto}(A).$

### 6.2.10 O Assunto da Instância de uma Fórmula

Se  $A$  é uma fórmula de  $L$  que contém a variável  $x$ ,  $t$  é um termo de  $L$  e  $A[t/x]$  é a fórmula obtida substituindo-se a variável  $x$  por  $t$  em  $A$ , então

$$\text{assunto}(A[t/x]) \subseteq \text{assunto}(A).$$

Isto quer dizer que se uma instância de uma fórmula  $A$  é sobre um assunto, então  $A$  também é sobre aquele assunto.

## 6.3 A Competência de um Agente

Os agentes são competentes sobre determinados tópicos. Formalmente, a competência é uma função que associa a cada agente um sub-conjunto de  $T$ . Isto é

$$\text{competência}(i) = X, \text{ onde } i \in \text{AGT} \text{ e } X \subseteq T.$$

Todo agente é competente sobre suas atitudes mentais sobre qualquer tema, isto é, se  $i \in \text{AGT}$ , então

$$\text{competência}(i) \supseteq \{\text{mai}:t \mid t \in \tau\}.$$

É interessante notar que um agente  $i$  pode ser competente sobre as atitudes mentais de um outro agente  $j$ . Neste caso, diz-se que  $i$  tem conhecimento total sobre  $j$ , o que significa, por exemplo, que  $i$  é capaz de prever o comportamento de  $j$ .

No nosso diálogo exemplo:

- $\text{competência}(u) = \{\text{classe}, \text{destino}, \text{origem}\};$
- $\text{competência}(s) = \{\text{preço}\}.$

## 6.4 O Escopo de um Ato de Fala

Um ato de fala  $\alpha$  influencia um determinado conjunto de tópicos chamado de o escopo de  $\alpha$ . Formalmente, o escopo é uma função que associa a cada ato de fala um sub-conjunto de  $T$ . Isto é

$$\text{escopo}(\alpha) = X, \text{ onde } \alpha \in \text{ACT} \text{ e } X \subseteq T.$$

A execução de um ato de fala sempre influencia alguma atitude mental do agente ouvinte. Em particular

$$\text{escopo}(\langle \text{FORCE}_{i,j} A \rangle) \supseteq \{\text{ma}_j:\text{ma}_i:t \mid t \in \text{assunto}(A)\}.$$

Isto é, se um agente  $i$  fala algo para  $j$ , qualquer que seja a força de locução empregada, esta ação deve modificar o que  $j$  pensa sobre o que  $i$  pensa sobre o assunto do que foi dito.

Além disto, existe outra situação na qual faz-se necessário exigir que um tópico esteja no escopo de um ato de fala. Suponha que o estado do mundo em um dado momento  $k$  seja tal que o sistema acredite que o destino é o Rio de Janeiro, a classe é executiva e, por consequência, o preço da passagem é R\$150,00. Isto é

$$S_k \supseteq \{ \text{Bel}_s \text{Destino}(\text{Rio}), \text{Bel}_s \text{Classe}(\text{Executiva}), \text{Bel}_s \text{Preço}(\text{R\$150,00}) \}.$$

Suponha agora que o usuário informe ao sistema que ele mudou de idéia quanto à classe, desejando viajar de ônibus convencional. Isto é

$$\alpha_{k+1} = \langle \text{Inform}_{u,s} \text{Classe}(\text{Convencional}) \rangle.$$

Ora, como o usuário é competente sobre o tópico classe,  $\alpha_{k+1}$  também deve influenciar o que o sistema pensa sobre classe bem como qualquer fórmula atômica sobre classe. Este fato é expresso pelo seguinte axioma:

Se  $A$  é fórmula sem operadores modais,  $\alpha = \langle \text{Inform}_{i,j} A \rangle$ ,  $t \in \tau$  e  $t \in \text{assunto}(A) \cap \text{competência}(i)$ , então  $\text{escopo}(\alpha) \supseteq \{t, \text{ma}_j:t\}$ .

Deve-se tomar muito cuidado ao se definir o escopo das atos de fala de forma a não causar estados inconsistentes. Por exemplo, no domínio do nosso diálogo exemplo, o preço da passagem depende da classe do ônibus, e portanto um ato de fala que influencia a classe também deve influenciar o preço. Isto implica que, no exemplo anterior,  $\text{escopo}(\alpha_{k+1}) \supseteq (\text{preço}, \text{ma}_s:\text{preço})$ .

## 6.5 Estrutura de Tópicos

Dado um conjunto de temas e um conjunto de agentes, uma estrutura de tópicos é o conjunto de tópicos  $T$  juntamente com as funções assunto, competência e escopo.

Como será visto nas próximas seções, uma estrutura de tópicos nos permitirá resolver as duas questões do nosso problema de mudança de crença: a preservação de crenças antigas e a adoção de novas crenças.

## 6.6 Preservação de Crenças Antigas

Após uma fala-ação  $\alpha$ , todas as crenças que não são influenciadas por  $\alpha$  devem ser preservadas. Isto é

Se  $A$  é uma fórmula de  $L$ ,  $\text{escopo}(\alpha) \cap \text{assunto}(A) = \emptyset$  e  $A$  não contém nenhum operador do tipo  $\text{Done}_\beta$  para qualquer  $\beta$ , então  $\text{Done}_\alpha A \rightarrow A$ .

A restrição de que  $A$  não deve conter operadores do tipo  $\text{Done}$ , é que, no sistema de Herzig e Longin,  $\text{Done}_\beta$  é interpretado como  $\beta$  acabou de acontecer, isto é,  $\beta$  é a última fala-ação realizada. Logo, após a execução de  $\alpha$ ,  $\text{Done}_\beta$  não deve ser preservada.

No nosso diálogo exemplo  $\text{Bel}_s \text{Destino}(\text{Rio})$  é mantida após o ato de fala  $\langle \text{Inform}_{u,s} \text{Classe}(\text{convencional}) \rangle$ .

## 6.7 Adoção de Crenças

Se um agente  $i$  acredita em  $A$  e  $i$  é competente sobre todos os tópicos contidos no assunto de  $A$ , então  $A$  é o caso. Isto é

Se  $A$  é uma fórmula de  $L$ ,  $i \in \text{AGT}$  e  $\text{assunto}(A) \subseteq \text{competência}(i)$ , então  $\text{Bel}_i A \rightarrow A$ .

No nosso diálogo exemplo, após o ato de fala  $\langle \text{Inform}_{u,s} \text{Classe}(\text{convencional}) \rangle$ , em um primeiro momento, o sistema aceita os efeitos indiretos do ato de fala, isto é

$\text{Bel}_s \text{Bel}_u \text{Classe}(\text{Convencional})$ .

Depois, pelo axioma acima, temos



$Bel_s Classe(Conventional).$

## 6.8 Aplicação da Abordagem Baseada em Tópicos no Diálogo Exemplo

Vamos ilustrar abordagem baseada em tópicos mostrando o que acontece após o proferimento  $u_2 = \{ \langle Inform_{u,s} Classe(Conventional) \rangle \}$  de nosso diálogo exemplo. Vamos chamar o ato de fala  $\langle Inform_{u,s} Classe(Conventional) \rangle$  de  $\alpha_k$ , logo o estado antes e depois de  $u_2$  é denotado por  $S_k$  e  $S_{k+1}$ . Vamos assumir que as funções assunto, competência e escopo são as que foram definidas as seções anteriores para o diálogo exemplo.

Ora, percebe-se que, antes de  $u_2$ , o estado do mundo  $S_k$  é tal que

$S_k \supseteq \{ Bel_s Destino(Rio), Bel_s Classe(Executivo), Bel_s Preço(R\$150,00) \}$ . Segundo o axioma de preservação de crença, temos:

- $A = Bel_s Destino(Rio) \in S_{k+1}$ , pois  $assunto(A) \cap escopo(\alpha_k) = \emptyset$ ;
- $A = Bel_s Classe(Executivo)$ , pois  $assunto(A) \cap escopo(\alpha_k) = \{ma_s: classe\}$ ;
- $A = Bel_s Preço(R\$150,00)$ , pois  $assunto(A) \cap escopo(\alpha_k) = \{ma_s: preço\}$ .

Segundo a lei definida na seção 4.3.2 temos:

- $Done_{\alpha_k} \rightarrow Bel_s Bel_u Classe(Conventional).$

Como o agente  $u$  é competente sobre o tópico classe, temos:

- $Bel_s Bel_u Classe(Conventional) \rightarrow Bel_s Classe(Conventional).$

E pela lei estática definida na seção 4.3.1, temos:

- $Bel_s Classe(Conventional) \rightarrow Bel_s Preço(R\$85,00).$

Apesar de estar fora do escopo deste estudo, vamos falar um pouco sobre a reação do agente  $s$  após o proferimento  $u_2$ . Ora, não é difícil mostrar que

- $Bel_s Bel_u \neg R(85,00) \in S_k.$

Logo pela lei reativa definida na seção 4.3.3, temos:

- $(Bel_s Preço(R\$85,00) \wedge Bel_s Bel_u \neg R(85,00)) \rightarrow Intend_s Bel_u Preço(R\$85,00).$

Ou seja, foi gerada uma intenção para o agente  $s$ , que será tratada na fase de planejamento, conforme seção 3.1.6, gerando o proferimento

- $s_4 = \{ \langle Inform_{s,u} Preço(R\$ 85,00) \rangle \}.$

## 6.9 Discussão da Abordagem Baseada em Tópicos

Esta abordagem de mudança de crenças baseada em tópicos possui um apelativo bastante natural. Particularmente o axioma de preservação de crenças que exclui do processo de mudança as crenças que estão relacionadas com o tópico em questão. O que nos parece bastante razoável, pois as pessoas não verificam todas as suas crenças a cada percepção recebido do mundo externo. Ao invés disto, elas tratam somente as crenças relevantes para o assunto em questão.

A idéia de atualizar somente partes relevantes de base de crenças também foi pesquisada em [Was00], onde foram definidos operadores para realizar mudanças locais em sub-conjuntos de crenças chamados de compartimentos. Utilizando uma intuição

similar ao trabalho de Herzig e Longin, Renata Wassermann define o compartimento de uma base de crenças  $B$  centrado em uma sentença  $\alpha$  como sendo o sub-conjunto de  $B$  que é relevante para  $\alpha$ . Podemos pensar que a função assunto definida por Herzig e Longin faz o papel da relevância definido por Wassermann.

---

## 7 Questões a Investigar

Uma das principais tarefas posteriores do aluno será pesquisar implementações existentes da arquitetura BDI, visando principalmente a aplicabilidade das mesmas em sistemas de diálogos interativos. Além disto, foram identificadas algumas questões, descritas nas subseções seguintes, que poderão ser pesquisadas.

### 7.1 Atribuição de Graus às Funções da Estrutura de Tópicos

A idéia de atribuição de graus às funções da estrutura de tópicos possui especial utilidade se as competências dos agentes não são disjuntas. Neste caso, quando ocorrer contradição entre os estados mentais de dois agentes com competências sobre o mesmo tópico, o grau de competência poderia ser um critério de decisão. Esta idéia é bastante intuitiva, pois parece que as pessoas em geral utilizam-se desse conceito no cotidiano. Por exemplo, na economia as pessoas tendem a acreditar mais neste ou naquele analista de mercado de acordo com a competência suposta dos mesmos.

### 7.2 Assunto de uma Constante Individual

No modelo apresentado em [HL00a], os tópicos associados às fórmulas dependem somente do contexto e dos predicados da fórmula (veja os axiomas sobre a função assunto na seção 6.1). Portanto, o assunto da fórmula mortal(homem) é o mesmo da fórmula mortal(macaco). Pode-se argumentar que o assunto da primeira fórmula deveria conter o tópico seres humanos enquanto o assunto da segunda deveria conter o tópico macacos.

### 7.3 Definição da Estrutura de Tópicos dentro da Linguagem

A idéia de definir a estrutura de tópicos possui dois aspectos interessantes. O primeiro deles que seria possível definir a competência como crença dos agentes. Isto é seria interessante em domínios mais complexos nos quais um agente pode ser competente na visão de um agente  $i$  e não o ser na visão de outro agente  $j$ .

O outro aspecto interessante é que seria possível realizar inferências. Por exemplo, o seguinte axioma  $\forall x,y \text{ PossuiDoutorado}(x,y) \rightarrow \text{Competente}(x,y)$  nos permitiria deduzir que uma pessoa que possui doutorado em determinada área é competente naquela área.

Outra exemplo, um pouco controversial, seria o axioma  $(A \rightarrow B) \rightarrow \forall x(\text{assunto}(B,x) \rightarrow \text{assunto}(A,x))$  que nos diz se A implica B, então tudo que é assunto de B é assunto de A. Por exemplo, suponha que

- A = está chovendo;
- B = o trânsito está lento;
- assunto(A,chuva);
- assunto(B,trânsito).

Este axioma é controversial por dois motivos. Primeiro ele possível um erro de sintaxe, possui foram usadas fórmulas da linguagem como termos e segundo ele parece depender do domínio em questão. Por exemplo, se estivermos em São Paulo, provavelmente o exemplo suposto acima valeria. Entretanto, se estivermos em uma pequena cidade do interior de Minas Gerais, certamente o exemplos seria falso. Mas como sugere o nome desta seção, estas são questões a serem investigadas.

---

## Bibliografia

- [AGM85] Carlos Alchourrón, Peter Gärdenfors e David Makinson. On the logic of theory change. *Journal of Symbolic Logic*, 50(2):510-530, 1985.
- [AFMR95] Allen, J., Ferguson, G., Miller, B., e Ringer, E. Spoken dialogues and interactive planning. In *Proceeding ARPA Speech and Natural Language Workshop*, Austin, TX, pp. 202-207. Morgan Kaufman. 1995.
- [Aus62] John Austin. *How to do things with words*. Oxford University Press. 1962.
- [Bra87] Michael Bratman. *Intentions, plans and practical reason*. Harvard University Press: Cambridge, MA, 1987.
- [BS84] Robert A. Bull e Krister Segerberg. Basic Modal Logic. In Gabbay, D. and Guenther, F., editors, *Handbook of Philosophical Logic*, volume II. D. Reidel Publishing Company. 1984.
- [Bur95] Büring, D.. Topic. Em Bosch, P. e van der Sandt, R., editores, *The Focus Bood*. Cambridge University Press. 1995.
- [CL90a] Cohen, P. R. and Levesque, H. J.. Intention is choice with commitment. *Artificial Intelligence Journal*, 1990.
- [CL90b] Cohen, P. R. and Levesque, H. J.. Persistence, intentions, and commitment. In Cohen, P. R., Morgan, J., and Pollack, M. E., editors, *Intentions in Communication*. MIT Press. 1990.
- [CL90c] Cohen, P. R. and Levesque, H. J.. Rational interaction as the basis for communication. In Cohen, P. R., Morgan, J., and Pollack, M. E., editors, *Intentions in Communication*. MIT Press. 1990.
- [CP79] Cohen, P. R. and Perrault, C. R.. Elements of a plan based theory of speech acts. *Cognitive Science*, 3:177-212. 1979.
- [Fuh89] André Fuhrmann. Reflective modalities and theory change. *Synthese*, 81:115-134. 1989.
- [FIPA99] Foundation for Intelligente Physical Agents. *Specification part 2 – Agent communication language*. 1999.
- [Gam91a] Gamut, L.T.F.. *Logic, Language and Meaning*. Volume 1 – Introduction to Logic. The University of Chicago Press. 1991.
- [Gam91b] Gamut, L.T.F.. *Logic, Language and Meaning*. Volume 2 – Intensional Logic and Logical Grammar. The University of Chicago Press. 1991.
- [Gri75] Grice, H.P.. Logic and conversation. In Cole and Morgan. 1975.

- [HL00a] Andreas Herzig and Dominique Longin. Belief dynamics in cooperative dialogues. 2000.
- [Hod83] Wilfrid Hodges. Elementary Predicate Logic. In Gabbay, D. and Guenther, F., editors, Handbook of Philosophical Logic, volume I. D. Reidel Publishing Company. 1983.
- [JM00] Daniel Jurafsky e James Martin. Speech and Language Processing. Prentice Hall. 2000.
- [Per90] Perrault, C. R.. An application of default logic to speech act theory. In Cohen, P. R., Morgan, J., and Pollack, M. E., editors, Intentions in Communication. MIT Press. 1990.
- [Sea69] John R. Searle. Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language. Cambridge University Press. 1969.
- [Was00] Renata Wasserman. Resource-Bounded Belief Revision. ILLC Dissertation Series. 2000.
- [WJ95] M. Wooldridge and N.R. Jennings. Intelligent agents: theory and practice. The Knowledge Engineering Review. 1995.
- [Woo00] Michael Woodridge. Reasoning about rational agents. MIT Press. 2000.