

Aula 2 – Representação do Conhecimento

Parte 1 – Sistemas Baseados em Conhecimento

22705/1001336 - Inteligência Artificial

2019/1 - Turma A

Prof. Dr. Murilo Naldi

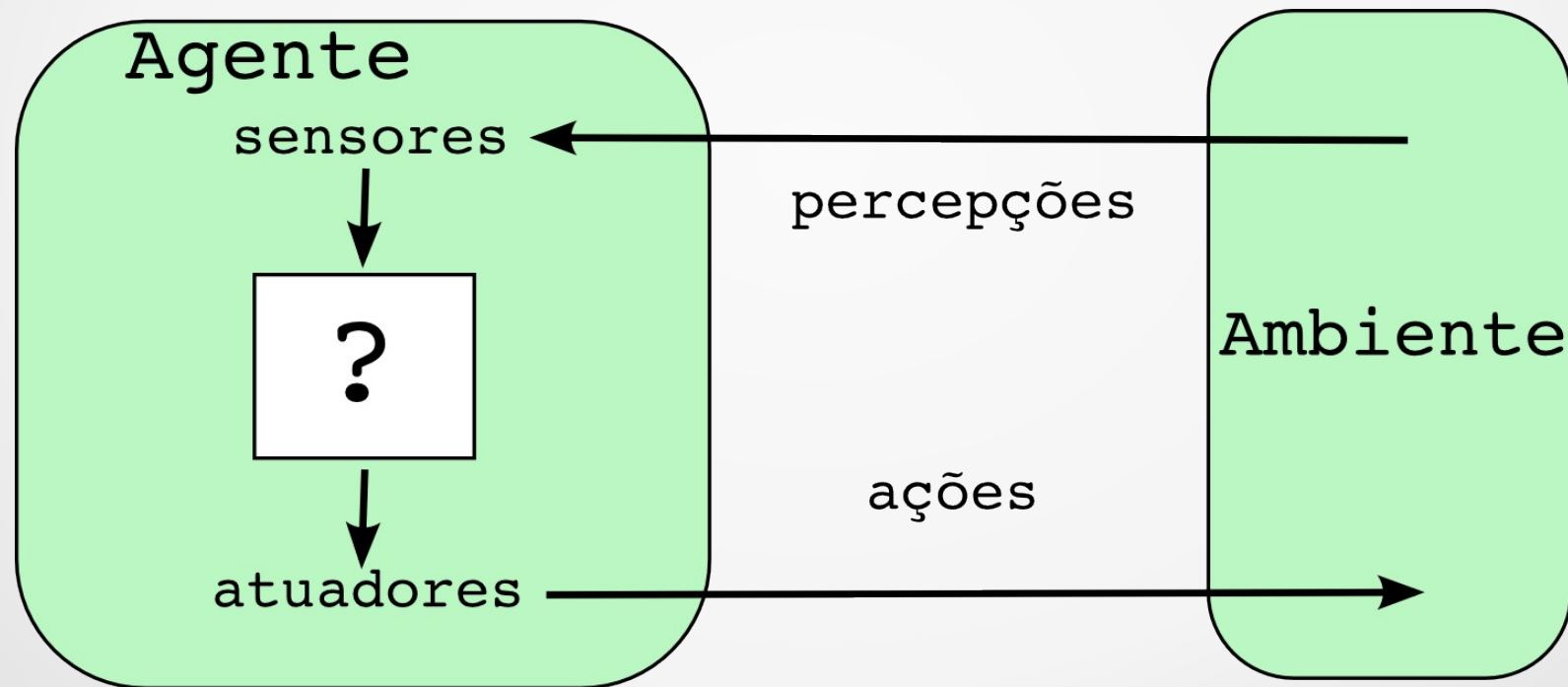
naldi@dc.ufscar.br

Agradecimentos

- Agradecimentos pela base do material utilizado nesta aula foi cedido ou adaptado do material dos professores Maria Carmo Nicoletti, Maria Carolina Monard, Solange Rezende, Andréia Bonfante, Heloísa Camargo e Ricardo Cerri.

Agentes Inteligentes

- Agente é tudo que pode se considerado capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e agir sobre esse ambiente por intermédio de atuadores.



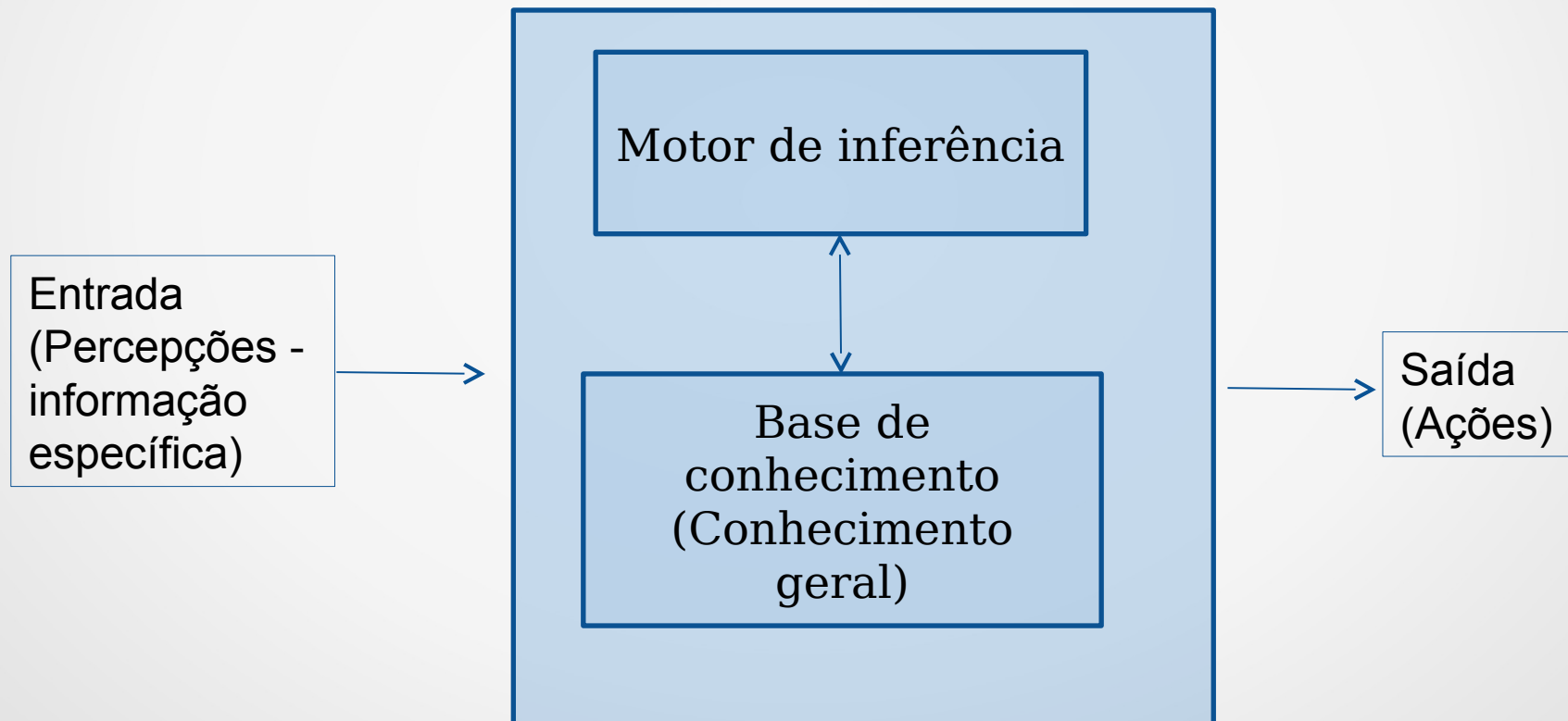
SBC

- Sistemas de IA que representam e utilizam conhecimento são usualmente chamados de Sistemas Baseados em Conhecimento
- Utilizam informações sobre o cenário de aplicação (ambiente) para tomar decisões (ações)
 - Simulam conhecimento
- Essas informações do ambiente podem ser:
 - Percepções
 - Modelo



Componentes do SBC

- Funcionamento de um SBC



Construção de SBC

- Podemos construir um SBC informando todo o conhecimento que ele precisa saber. Essa é chamada **abordagem manual** de construção de SBC.
- Além disso, podemos também equipar o sistema com mecanismos que permitam aprender sozinho, criando conhecimento geral sobre o domínio a partir de um conjunto de dados (percepções). Essa é chamada **abordagem automática** para construção de SBC, ou **aprendizado de máquina**.

Conhecimento baseado em lógica

- Um forma de expressar conhecimento é por meio da lógica
 - Inferência permite simular conhecimento
- Veremos que a lógica para um SBC é composta de:

Sintaxe
Semântica
Verdade
Mundo
possível
Modelo

Consequência
lógica
Inferência Lógica
Consistência
Completeza

Lógica - Sintaxe

- Sintaxe – sentenças da BC são expressas de acordo com a sintaxe da linguagem de representação, que especifica todas as sentenças que são bem formadas.
- Exemplo:
 - cliente ? compra = 1: compra = 0;
 - sintaxe está correta em C
 - cliente ? compra == 1 : !compra
 - sintaxe está incorreta em C

Lógica - Semântica

- Semântica – significado das sentenças presentes no SBC e sua relação com ambiente
- Exemplo:
 - cliente ? compra = 1: compra = 0;
 - ?- Se cliente for verdadeira, então ele efetua compras (compra é verdadeiro)!
 - caso contrário, é falso.

Lógica

- Consequência lógica – aplicação de uma regra (*modus ponens*, por exemplo), a partir de informações prévias, para derivar novas informações.
- Inferência lógica – aplicação da consequência.
- Consistência – um algoritmo de inferência é consistente quando deriva apenas sentenças permitidas.
- Completeza – um algoritmo de inferência é completo se puder derivar qualquer sentença permitida.
 - Não há casos permitidos que ele não cubra.

Lógica - Modelo

- Conjunto de informações, fatos e regras que se aplicam ao mundo do SBC e, portanto, servem de base inferência e tomada de decisão sobre esse mundo
- Exemplo:
 - Em um SBC bancário, informações (fatos) e regras de negócio sobre o funcionamento bancário e do mercado são utilizados como modelo de mundo
 - Nem sempre estará alinhado com a realidade, mas é o objetivo!

Lógica Proposicional

- As sentenças declarativas (sintaxe) que possuem um semântica verdadeiro ou falso
- Estas sentenças recebem o nome de proposições.
- Símbolo de Pontuação : (,)
- Símbolo de verdade : *true*, *false*
- Símbolos Proposicionais

$P, Q, R, S, P_1, Q_1, R_1, S_1, \dots$

- Conectivos Proposicionais

$\neg, \vee, \wedge, \rightarrow, \leftrightarrow$

Lógica proposicional

- Na lógica proposicional, proposições tem significado semântico
 - Exemplo: H é chover, G é campo está molhado
- Tabela verdade – dá o valor verdade de uma proposição a partir de todas as combinações de valores das proposições atômica

H	G	$\neg H$	$H \vee G$	$H \wedge G$	$H \rightarrow G$	$H \leftrightarrow G$
T	T	F	T	T	T	T
T	F	F	T	F	F	F
F	T	T	T	F	T	F
F	F	T	F	F	T	T

Redes de inferência

- São padrões de inferência comuns que podem ser aplicados para derivar cadeias de conclusões que levam aos objetivos desejados.
- Exemplo:
 - Problema: dado um conjunto de proposições $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ (premissas) encontre o valor verdade de uma proposição q (objetivo)
 - As proposições podem derivar proposições intermediárias até o objetivo
 - Exemplo: $p_1 \rightarrow p_2, p_2 \rightarrow p_3, p_3 \rightarrow q$

Regras de inferência

- Algumas regras de inferência comuns são:

Modus Ponens:

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \alpha}{\beta}$$

Eliminação de E:

$$\frac{\alpha \wedge \beta}{\alpha}$$

Eliminação de Bicondicional:

$$\frac{\alpha \Leftrightarrow \beta}{(\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha)}$$

$$\frac{(\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha)}{\alpha \Leftrightarrow \beta}$$

- Também possuem versões generalizadas.

Exemplo

- Base de conhecimento

R1: $\neg p_{11}$

R2: $b_{11} \Leftrightarrow (p_{12} \vee p_{21})$

R3: $b_{21} \Leftrightarrow (p_{11} \vee p_{22} \vee p_{31})$

R4: $\neg b_{11}$

R5: b_{21}

- Provar $\neg p_{12}$

Exemplo

- Eliminação de bicondicional aplicada a R2:

$$R6: b_{11} \Rightarrow (p_{12} \vee p_{21}) \wedge (p_{12} \vee p_{21}) \Rightarrow b_{11}$$

- Eliminação de E da R6:

$$R7: ((p_{12} \vee p_{21}) \Rightarrow b_{11})$$

- Contraposição:

$$R8: \neg b_{11} \Rightarrow \neg(p_{12} \vee p_{21})$$

- Modus Ponens com R8 e R4:

$$R9: \neg(p_{12} \vee p_{21})$$

- Regra de De Morgan:

$$R10: \neg p_{12} \wedge \neg p_{21}$$

- Eliminação de E da R10:

$$R11: \neg p_{12}$$

Lógica de Primeira Ordem

- Também conhecida como Lógica de Predicados
- Permite representar conhecimento e raciocinar usando relações entre objetos, classes e subclasses.
- Permitem generalizações por meio de atribuições de características (predicados) para classes
- Quantificadores expressão as propriedades de uma coleção inteira de objetos
 - Universal \forall
 - Existencial \exists

Termos

- Termos são expressões lógicas que se referem a objetos.
 - Símbolos são termos
- Nem sempre um termo é representado por um símbolo
 - pai(joao) se for uma função é, portanto, um termo.
- Termos podem ser
 - Constantes
 - Variáveis
 - Funções

Predicados e Funções

- Predicados são utilizados para representar propriedades ou relações entre termos
- Exemplos:
 - aluno(joao) //relação unária
 - ama(joao,maria) //relação binária
- Funções são utilizadas para representar os termos (objetos)
- Exemplos:
 - pessoa(pai(joao))
 - objeto(computador(maria))

Sintaxe e Semântica

- O valor verdade de uma sentença pode ser calculado a partir de uma interpretação usando as mesmas regras da lógica proposicional e mais:
 - $\forall X p(X)$ é verdade se e só se $p(X)$ é verdade para todo X do domínio
 - $\exists X p(X)$ é verdade se existe pelo menos um valor de X no domínio para o qual $p(X)$ é verdade

Uso de predicados e quantificadores

- Exemplo de categoria: aluno
 - **Todos** os alunos são inteligentes.
 - $\forall X \text{ alunos}(X) \rightarrow \text{inteligente}(X)$
 - **Nenhum** aluno é inteligente.
 - $\forall X \text{ alunos}(X) \rightarrow \neg \text{inteligente}(X)$
 - **Alguns** alunos são inteligentes.
 - $\exists Y \text{ alunos}(Y) \rightarrow \text{inteligente}(Y)$
 - **Alguns** alunos não são inteligentes.
 - $\exists Y \text{ alunos}(Y) \rightarrow \neg \text{inteligente}(Y)$

Conexões entre \forall e \exists

- Dois quantificadores estão conectados entre si por meio de negação \neg
- Exemplos:
 - $\forall X \neg \text{gosta}(X, \text{doença})$
- é equivalente a
 - $\neg \exists X \text{gosta}(X, \text{doença})$
- E
 - $\forall X \text{gosta}(X, \text{sorvete})$
- é equivalente a
 - $\neg \exists X \neg \text{gosta}(X, \text{sorvete})$

Igualdade

- O símbolo de igualdade é utilizado para fazer indicações que afetam dois termos fazerem referência ao mesmo objeto.
 - $\text{pai}(\text{joão}) = \text{henrique}$
- É utilizado para expressar fatos sobre uma dada função, por exemplo:
 - $\exists X, Y \text{irmão}(X, \text{ricardo}) \wedge \text{irmão}(Y, \text{ricardo}) \wedge \neg(X=Y)$

Aplicação: SBC Consultor Financeiro

- A função do consultor é ajudar um usuário a decidir se ele deve investir numa conta de poupança ou no mercado de ações. Alguns investidores podem desejar dividir o seu dinheiro entre as duas opções. O investimento que será recomendado para um determinado investidor depende de sua renda e da sua quantia atual em poupança, de acordo com o seguinte critério:

Aplicação: SBC Consultor Financeiro

- Indivíduos com uma conta de poupança inadequada devem sempre, como prioridade mais alta, aumentar a quantia poupada, independentemente de sua renda.
- Indivíduos com uma conta de poupança adequada e uma renda adequada deveriam considerar um investimento mais arriscado, mas potencialmente mais lucrativo, no mercado de ações.
- Indivíduos com uma renda pequena que já tenham uma conta de poupança adequada podem desejar dividir a sua renda excedente entre poupança e ações.

Aplicação: SBC Consultor Financeiro

- A adequação entre poupança e renda é determinada pelo número de dependentes que um indivíduo mantém. Pela nossa regra, para uma poupança adequada, o indivíduo deve ter no mínimo R\$5.000,00 no banco para cada dependente. Uma renda adequada deve ser estável e fornecer ao menos R\$15.000,00 ao ano, mais um adicional de R\$4.000,00 por cada dependente.

Aplicação: SBC Consultor Financeiro

- As estratégias de investimento são representadas por implicações.

$\neg \text{adequada}(\text{conta_poupanca}) \rightarrow$
 $\text{investimento}(\text{poupanca}).$

$\text{adequada}(\text{conta_poupanca}) \wedge \text{adequada}(\text{renda}) \rightarrow$
 $\text{investimento}(\text{acoes}).$

$\text{adequada}(\text{conta_poupanca}) \wedge \neg \text{adequada}(\text{renda}) \rightarrow$
 $\text{investimento}(\text{combinacao}).$

Aplicação: SBC Consultor Financeiro

- Para determinar se renda e poupança são adequadas são usadas funções: poupança_min determina a poupança adequada mínima recebendo o número de dependentes como argumento e retornando esse número vezes 5.000.

$$\forall X \text{ quantia_poupada}(X) \wedge \exists Y (\text{dependentes}(Y) \wedge \text{maior}(X, \text{poupanca_min}(Y))) \\ \rightarrow \text{adequada}(\text{conta_poupanca}).$$
$$\forall X \text{ quantia_poupada}(X) \wedge \exists Y (\text{dependentes}(Y) \wedge \neg \text{maior}(X, \text{poupanca_min}(Y))) \\ \rightarrow \neg \text{adequada}(\text{conta_poupanca}).$$

Aplicação: SBC Consultor Financeiro

- As definições de renda adequada devem estar relacionadas aos ganhos, renda e dependentes.

$\forall X \text{ ganhos}(X, \text{estavel}) \wedge \exists Y (\text{dependentes}(Y) \wedge \text{maior}(X, \text{renda_min}(Y))) \rightarrow \text{adequada}(\text{renda}).$

$\forall X \text{ ganhos}(X, \text{estavel}) \wedge \exists Y (\text{dependentes}(Y) \wedge \neg \text{maior}(X, \text{renda_min}(Y))) \rightarrow \neg \text{adequada}(\text{renda}).$

$\forall X \text{ ganhos}(X, \neg \text{estavel}) \rightarrow \neg \text{adequada}(\text{renda}).$

Aplicação: SBC Consultor Financeiro

- A função `renda_min` calcula a renda mínima adequada:

$$\text{renda_min}(X) \equiv 15000 + (4000 * X)$$

- A função `poupanca_min` calcula a poupança mínima adequada:

$$\text{poupanca_min}(X) \equiv (5000 * X)$$

Aplicação: SBC Consultor Financeiro

- A descrição de um investidor em particular que será consultado pelo SBC:

`quantia_poupada(22000).`

`ganhos(25000,estável).`

`dependentes(3).`

SBC Lógico Completo

- 1) $\neg \text{adequada}(\text{conta_poupanca}) \rightarrow \text{investimento}(\text{poupanca}).$
- 2) $\text{adequada}(\text{conta_poupanca}) \wedge \text{adequada}(\text{renda}) \rightarrow \text{investimento}(\text{acoes}).$
- 3) $\text{adequada}(\text{conta_poupanca}) \wedge \neg \text{adequada}(\text{renda}) \rightarrow \text{investimento}(\text{combinacao}).$
- 4) $\forall X \text{ quantia_poupada}(X) \wedge \exists Y (\text{dependentes}(Y) \wedge \text{maior}(X, \text{poupanca_min}(Y)))$
 $\rightarrow \text{adequada}(\text{conta_poupanca}).$
- 5) $\forall X \text{ quantia_poupada}(X) \wedge \exists Y (\text{dependentes}(Y) \wedge \neg \text{maior}(X, \text{poupanca_min}(Y)))$
 $\rightarrow \neg \text{adequada}(\text{conta_poupanca}).$
- 6) $\forall X \text{ ganhos}(X, \text{estavel}) \wedge \exists Y (\text{dependentes}(Y) \wedge \text{maior}(X, \text{renda_min}(Y)))$
 $\rightarrow \text{adequada}(\text{renda}).$
- 7) $\forall X \text{ ganhos}(X, \text{estavel}) \wedge \exists Y (\text{dependentes}(Y) \wedge \neg \text{maior}(X, \text{renda_min}(Y)))$
 $\rightarrow \neg \text{adequada}(\text{renda}).$
- 8) $\forall X \text{ ganhos}(X, \neg \text{estavel}) \rightarrow \neg \text{adequada}(\text{renda}).$
- 9) $\text{renda_min}(X) \equiv 15000 + (4000 * X)$
- 10) $\text{poupanca_min}(X) \equiv (5000 * X)$
- 11) $\text{quantia_poupada}(22000).$
- 12) $\text{ganhos}(25000, \text{estavel}).$
- 13) $\text{dependentes}(3).$

Passo 1

- Utilizar a conjunção de 12 e 13 com as duas primeiras componentes da premissa de 7 e 9:

$\text{ganhos}(25000, \text{estavel}) \wedge \text{dependentes}(3) \wedge$
 $\neg \text{maior}(25000, \text{renda_min}(3)) \rightarrow \neg \text{adequada}(\text{renda}).$

- Aplicando modus ponens, a conclusão

$\neg \text{adequada}(\text{renda})$

é produzida e adicionada ao conjunto de sentenças.

Passo 2

- Utilizar a conjunção de 11 e 13 com as duas primeiras componentes da premissa de 4 e 10:

$\text{quantia_poupada}(22000) \wedge \text{dependentes}(3) \wedge$
 $\text{maior}(22000, \text{poupanca_min}(3)) \rightarrow$
 $\text{adequada}(\text{conta_poupanca}).$

- Aplicando modus ponens, a conclusão

$\text{adequada}(\text{conta_poupanca})$

é produzida e adicionada ao conjunto de sentenças.

Passo 3

- Utilizar a conjunção das duas conclusões anteriores:
 $\neg \text{adequada}(\text{renda})$ e $\text{adequada}(\text{conta_poupanca})$
- Com as duas premissas da 3:
 $\text{adequada}(\text{conta_poupanca}) \wedge \neg \text{adequada}(\text{renda}) \rightarrow$
 $\text{investimento}(\text{combinacao})$.
- Aplicando modus ponens, a conclusão

$\text{investimento}(\text{combinacao})$

é produzida e apresentada como resposta.

Exercício

- Fazer um programa com um conjunto de regras para implementação do consultor financeiro
 - conta de poupança inadequada -> poupança.
 - conta de poupança adequada e uma renda adequada -> ações.
 - renda pequena e conta de poupança adequada -> poupança e ações.
- Para uma poupança adequada, o indivíduo deve ter no mínimo R\$5.000,00 no banco para cada dependente. Uma renda adequada deve ser estável e fornecer ao menos R\$15.000,00 ao ano, mais um adicional de R\$4.000,00 por cada dependente.