



# EMENTA

- Histórico sobre Sistemas Especialistas;
- Vantagens e desvantagens de Sistemas Especialistas;
- Componentes e ciclo de vida de um Sistemas Especialistas;
- Aspectos relativos à definição do domínio de conhecimento;
- **Técnicas de aquisição e representação do conhecimento;**
- **Validação e verificação de Sistemas Especialistas;**
- **Implementação de protótipos.**

# REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

- **TIPOS DE CONHECIMENTO?**

- PRECISO/IMPRECISO
- VARIÁVEL/FIXO
- COMPLETO/INCOMPLETO
- PROBABILÍSTICO/CERTO

- **AÇÕES SOBRE O CONHECIMENTO?**

- AQUISIÇÃO
- **REPRESENTAÇÃO**
- ACESSO
- MANIPULAÇÃO

# REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

O PAPEL DA REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL É O DE REDUZIR PROBLEMAS DE AÇÃO INTELIGENTE A PROBLEMAS DE BUSCA

## **DEFINIÇÕES**

CONJUNTO DE SENTENÇAS EM UMA LINGUAGEM FORMAL PARA A QUAL FORAM DEFINIDAS UMA SEMÂNTICA E UM CONJUNTO DE REGRAS DE INFERÊNCIA CAPAZES DE GERAR NOVAS SENTENÇAS A PARTIR DAS SENTENÇAS DISPONÍVEIS.

# REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

## **DEFINIÇÕES**

TODA REPRESENTAÇÃO DEVE POSSIBILITAR REPRESENTAR:

- OBJETOS
- SEUS ATRIBUTOS
- RELACIONAMENTOS ENTRE OBJETOS

# REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

## **CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS**

- DEFINIR EXPLICITAMENTE OS OBJETOS E RELAÇÕES;
- EXPOR RESTRIÇÕES NATURAIS (EXPRESSAR A FORMA COMO UM OBJETO OU RELAÇÃO INFLUENCIA UM(A) OUTRO(A));
- MOSTRAR OBJETOS E RELAÇÕES JUNTOS, PERMITINDO QUE AS INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS SEJAM VISTAS COM UMA "OLHADA RÁPIDA";
- SUPRIMIR DETALHES IRRELEVANTES (DETALHES RARAMENTE UTILIZADOS PODEM SER POSTOS DE LADO, MAS PODEM SER OBTIDOS QUANDO NECESSÁRIOS)

# REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

## CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS

- TRANSPARENTE, PERMITINDO O ENTENDIMENTO DO QUE ESTÁ SENDO DITO
- RÁPIDA, POSSIBILITANDO O ARMAZENAMENTO E A RECUPERAÇÃO DE INFORMAÇÕES EM TEMPO CURTO;
- COMPUTÁVEL, POSSIBILITANDO A SUA CRIAÇÃO, UTILIZANDO UM PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL EXISTENTE.



# REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

## FORMAS DE REPRESENTAÇÃO

A NECESSIDADE DE EXPRESSAR CONHECIMENTO INCERTO E INCOMPLETO LEVARAM AO DESENVOLVIMENTO DE DIVERSOS TIPOS DE FORMALISMOS DE REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO, COMO:

- LÓGICA;
- SISTEMAS DE FRAMES;
- SCRIPTS;
- **REDES SEMÂNTICAS.**

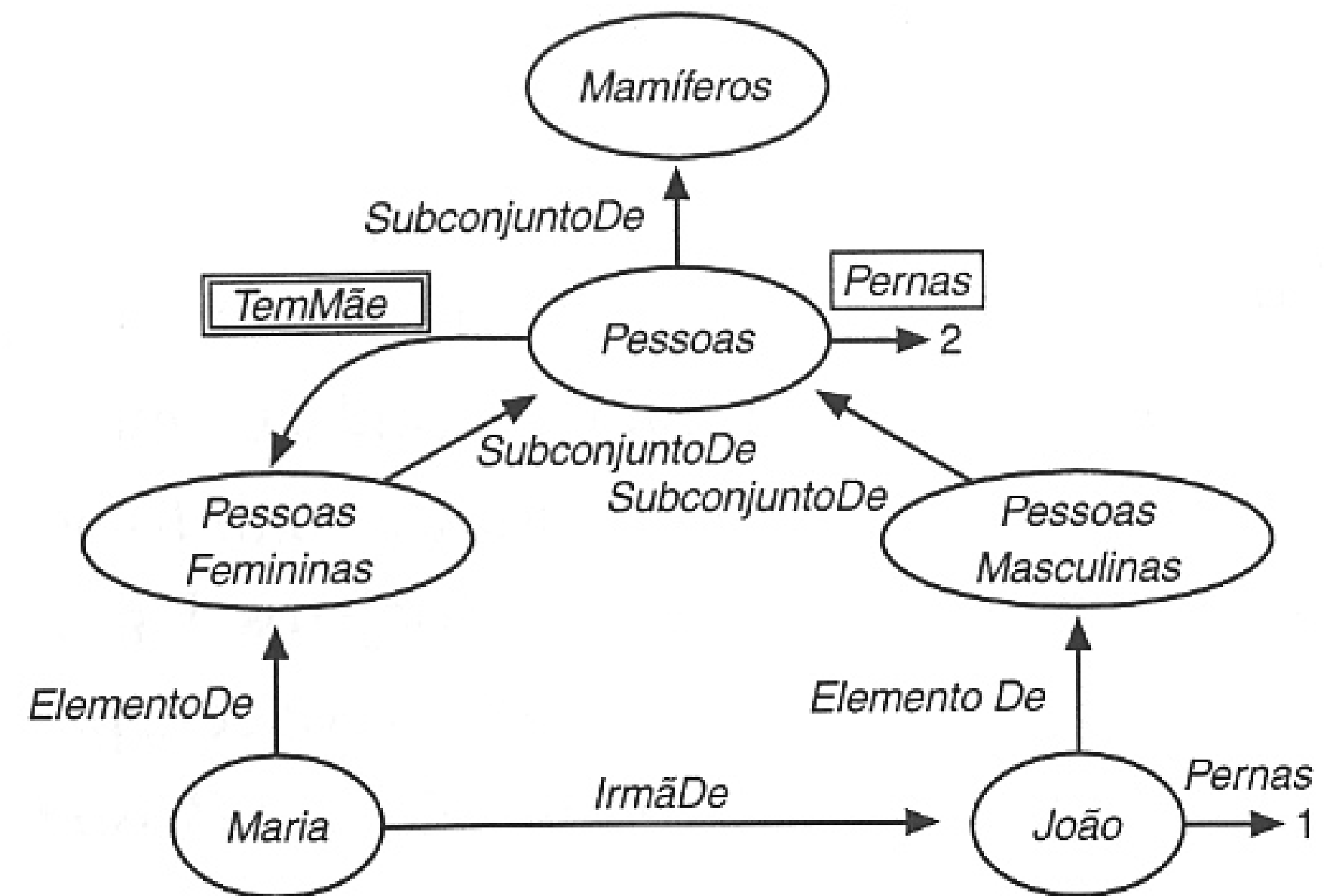




# REDES SEMÂNTICAS

UMA REDE SEMÂNTICA CONSISTE EM UM CONJUNTO DE NODOS (NÓS) CONECTADOS POR UM CONJUNTO DE ARCOS.

- **NODOS** - EM GERAL, REPRESENTAM OBJETOS;
- **ARCOS** - RELAÇÕES BINÁRIAS ENTRE ESSES OBJETOS. OS NODOS PODEM TAMBÉM SER UTILIZADOS PARA REPRESENTAR PREDICADOS, CLASSES, PALAVRAS DE UMA LINGUAGEM, ENTRE OUTRAS POSSÍVEIS INTERPRETAÇÕES, DEPENDENDO DO SISTEMA DE REDES SEMÂNTICAS.



# REDES SEMÂNTICAS

**RACIOCÍNIO**- TENTAR PROJETAR UMA RED SEMÂNTICA REPRESENTANDO O PROBLEMA A SE RESOLVIDO SOBRE UMA REDE DE CONHECIMENTO POR MEIO DE UM MECANISMO DE CORRESPONDÊNCIA ESTRUTURAL;

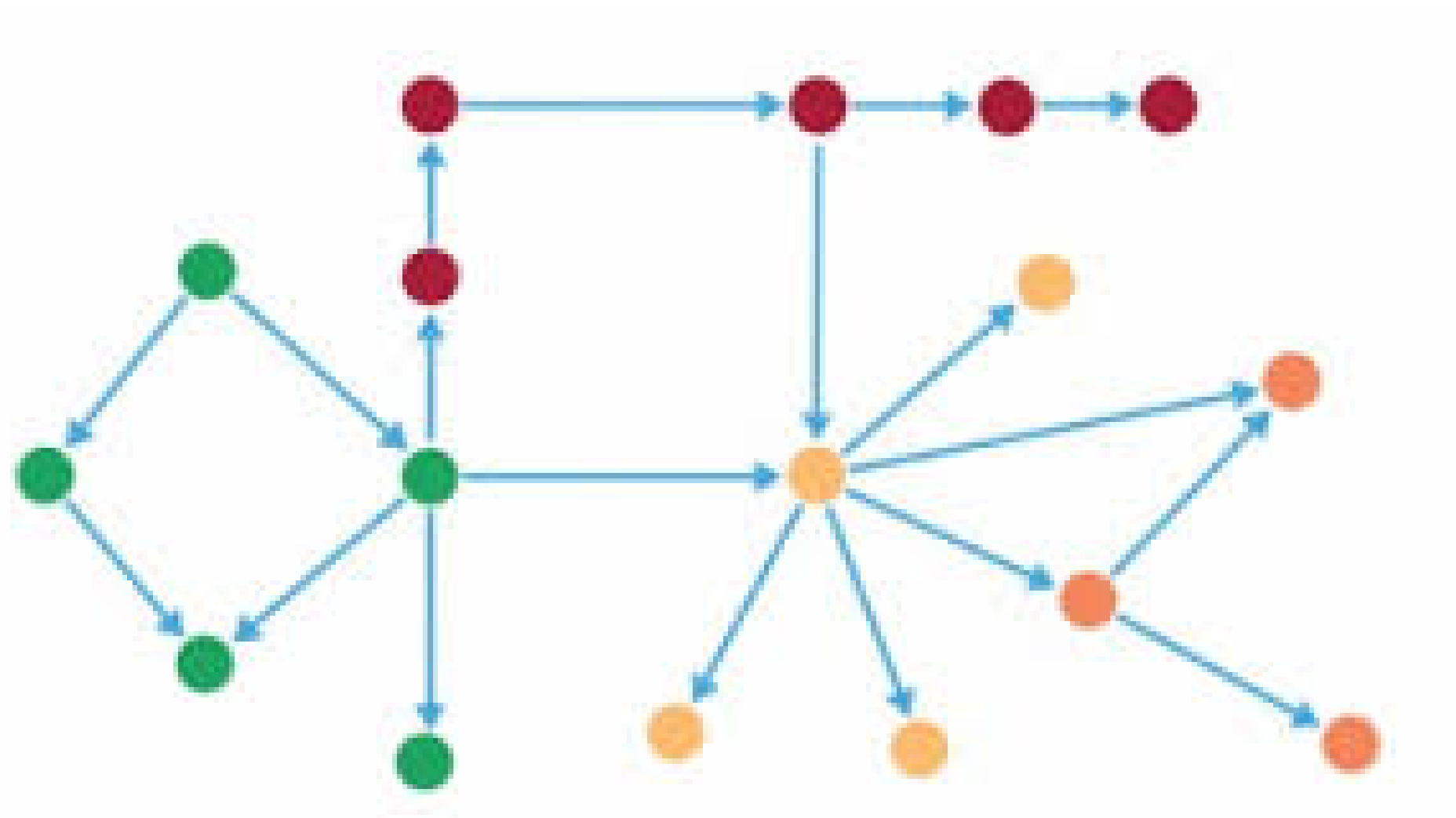
**RARAMENTE**, HÁ CORRESPONDÊNCIA IMEDIATA: NECESSÁRIO A CONSIDERAÇÃO DA HERANÇA D PROPRIEDADES.



# REDES SEMÂNTICAS

AS REDES SEMÂNTICAS PODEM SER DIVIDIDAS EM:

- REDES DE DEFINIÇÃO
- REDES DE ASSERÇÃO
- **REDES DE IMPLICAÇÃO**
- REDES EXECUTÁVEIS
- REDES DE APRENDIZADO
- REDES HÍBRIDAS



# REDES SEMÂNTICAS

## REDES DE IMPLICAÇÃO

- REDES DE IMPLICAÇÃO - USAM A IMPLICAÇÃO COM PRINCIPAL RELAÇÃO PARA CONEXÃO DE NODOS. PODEM SER USADAS PARA REPRESENTAR PADRÕES DE CRENÇAS, CAUSALIDADE, OU INFERÊNCIAS.
- AS REDES DE IMPLICAÇÃO ESTABELECEM RELAÇÕES DE IMPLICAÇÃO ENTRE OS NODOS.
- DEPENDENDO DA INTERPRETAÇÃO, ESTAS REDES PODEM SER VISTAS COMO REDES DE CRENÇAS E REDES BAYESIANAS, PARA ISTO SERIA NECESSÁRIO ENVOLVER VALORES DE PROBABILIDADE NAS RELAÇÕES DE VERDADEIRO E FALSO

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

PODEMOS DEFINIR AS REDES BAYESIANAS DE FORMA DIRETA:

***"REPRESENTAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE AS PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA DE EVENTOS CONFORME O TEOREMA DE BAYES ATRAVÉS DE UMA REDE".***

MAS PARA QUE POSSAMOS EFETIVAMENTE ENTENDÊ-LAS É NECESSÁRIO CONHECERMOS DOIS CONCEITOS MUITO IMPORTANTES: O ***TEOREMA DE BAYES*** E ***TEORIA DE GRAFOS***.

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### TEOREMA DE BAYES

O TEOREMA DE BAYES DESCREVE A PROBABILIDADE DE UM EVENTO DADO QUE OUTRO EVENTO JÁ OCORREU, O QUE É CHAMADO DE **PROBABILIDADE CONDICIONAL**.

NESSE TEOREMA PRECISAMOS TER ALGUMA INFORMAÇÃO ANTERIOR, OU SEJA, SABER QUE UM DETERMINADO EVENTO JÁ OCORREU E QUAL A PROBABILIDADE DESSE EVENTO, ESSA INFORMAÇÃO É CHAMADA ***A PRIORI***.



# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### TEOREMA DE BAYES

CASO NÃO TENHAMOS AS PROBABILIDADES **A PRIORI**, PODEMOS ESTIMÁ-LAS OU UTILIZAR ALGUMAS DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE CONHECIDA (DISTRIBUIÇÃO NORMAL, POISSON, ETC).

COM BASE NAS PROBABILIDADES A PRIORI E NOVOS DADOS OBTIDOS, A CHAMADA **VEROSSIMILHANÇA**, TEMOS AS PROBABILIDADES **A POSTERIORI**, QUE PODEM SER CONSIDERADAS AS NOVAS OU ATUAIS PROBABILIDADES.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)}$$

$$POSTERIORI = VEROSSIMILHANÇA * PRIORI / EVIDÊNCIA$$

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### TEOREMA DE BAYES

ALGUMAS OBSERVAÇÕES INTERESSANTES SOBRE O TEOREMA:

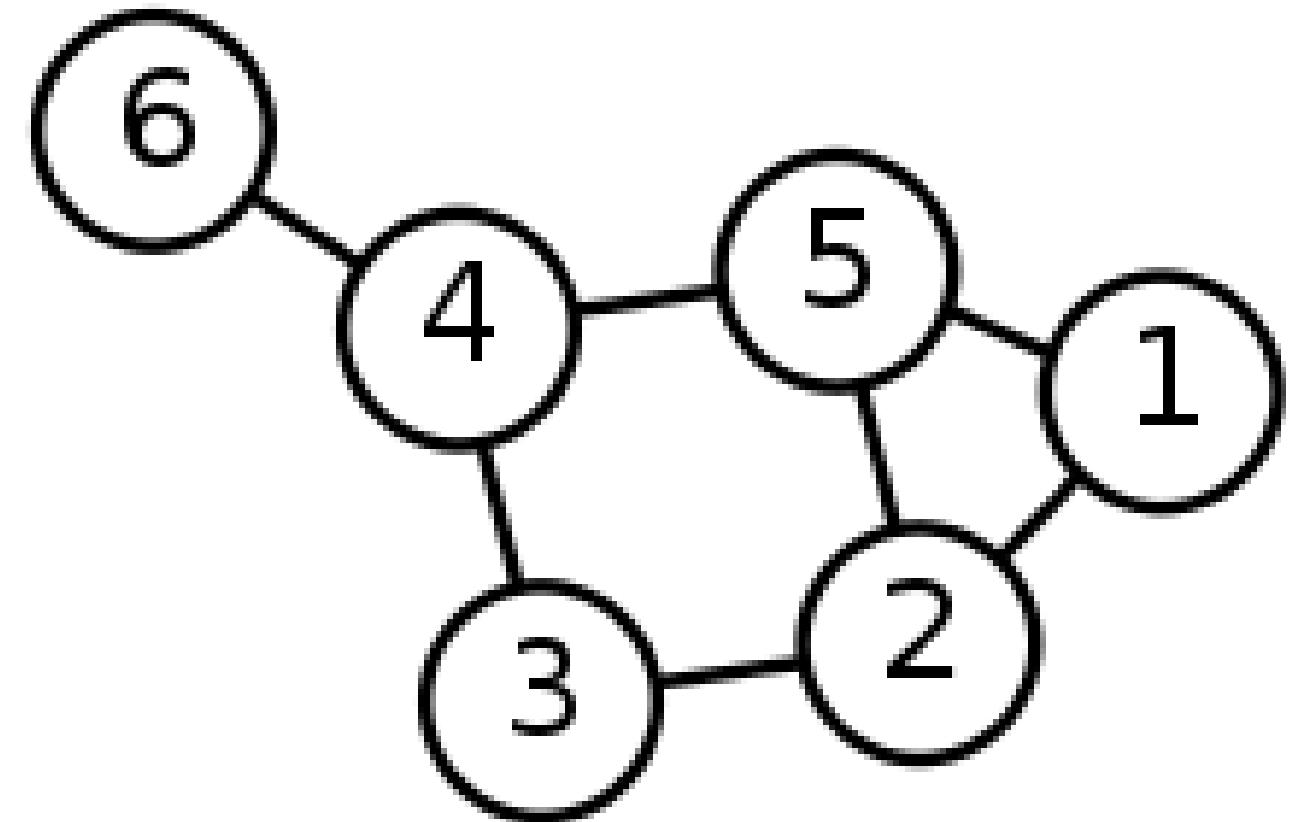
- QUANDO A UTILIZAMOS NO CONTEXTO DA CLASSIFICAÇÃO PODEMOS SUBSTITUIR O **A** POR **C** (CLASSE) E O **B** POR **X** (***VETOR DE CARACTERÍSTICAS***)
- OS EVENTOS SÃO ENCADEÁVEIS, O QUE PERMITE COMBINAR DIFERENTES EVENTOS;
- ALGUNS PROBLEMAS PODEM ENVOLVER MUITAS VARIÁVEIS, INCLUSIVE COM DEPENDÊNCIA ENTRE SI;
- É POSSÍVEL DESCREVER AS DEPENDÊNCIAS DAS VARIÁVEIS ATRAVÉS DE UMA REDE.

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### TEORIA DOS GRAFOS

ESSA TEORIA ESTUDA OS GRAFOS, QUE PODEM SER DEFINIDOS COMO UM CONJUNTO DE **OBJETOS** QUE ESTÃO **RELACIONADOS** DE CERTA FORMA. ESSE OBJETOS CORRESPONDEM À **VÉRTICES** (TAMBÉM CHAMADOS DE **NÓS** OU PONTOS) E AS RELAÇÕES CORRESPONDEM À **ARESTAS** (TAMBÉM CHAMADAS DE LINK OU **ARCO**).



A. GRAFO SIMPLES — WIKIPEDIA

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### TEORIA DOS GRAFOS

EXISTEM MUITAS CATEGORIAS DE GRAFOS, QUE LEVAM EM CONTA A TOPOLOGIA DOS GRAFOS, DIRECIONAMENTO, ETC. VAMOS DESCREVER APENAS O GRAFO MAIS PERTINENTE NESTA AULA.

### DAG - DIRECTED ACYCLIC GRAPH

COMO O PRÓPRIO NOME DIZ, ESSE É UM TIPO DE GRAFO:

- **DIRECIONADO**, AO CONTRÁRIO DO GRAFO NA IMAGEM A, ESSE GRAFO TEM DIREÇÕES ESPECÍFICAS NA RELAÇÕES (ARESTAS);
- **ACÍCLICO**, OU SEJA, NÃO POSSUI CICLOS DENTRO DELE, OU LOOPS.

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

REPRESENTAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE AS PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA DE EVENTOS UTILIZANDO PROBABILIDADES *A PRIORI* E *A POSTERIORI* RELACIONADAS ATRAVÉS DE UM GRAFO, ONDE OS *VÉRTICES* SÃO AS *VARIÁVEIS ALEATÓRIAS* E AS *ARESTAS* SÃO AS *RELAÇÕES DE DEPENDÊNCIA*.

TENDO COMO DEFINIÇÃO FORMAL: PAR ORDENADO  $(S, P)$ , NO QUAL:

- **S** É A ESTRUTURA DA REDE (NÓS E ARESTAS);
- **P** É O CONJUNTO DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE  $P(X_i | PA(X_i))$ , EM QUE **PA(X<sub>i</sub>)** SÃO OS NÓS PAIS DE **X<sub>i</sub>**.

É POSSÍVEL OBTER A **DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE CONJUNTA DA REDE** MULTIPLICANDO AS PROBABILIDADES CONDICIONAIS EM CADA NÓ EM TODOS OS CAMINHOS DA REDE.

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### UTILIDADE — INFERÊNCIA

*INICIALMENTE ELA PODE SER TIDA COMO UMA FORMA DE REPRESENTAR UM CONHECIMENTO ESPECIALISTA SOBRE INCERTEZAS DO OBJETO DE ESTUDO E DE INFERIR SOBRE O QUE ERA DESCONHECIDO, OU SEJA, ONDE AS PROBABILIDADES NÃO SÃO REPRESENTADAS DIRETAMENTE NO MODELO.*

**MATEMATICAMENTE:** UMA REDE BAYESIANA É UMA REPRESENTAÇÃO COMPACTA DE UMA TABELA DE CONJUNÇÃO DE PROBABILIDADES DO UNIVERSO DO PROBLEMA.

**DO PONTO DE VISTA DE UM ESPECIALISTA:** REDES BAYESIANAS CONSTITUEM UM MODELO GRÁFICO QUE REPRESENTA DE FORMA SIMPLES AS RELAÇÕES DE CAUSALIDADE DAS VARIÁVEIS DE UM SISTEMA.

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### EXEMPLO:

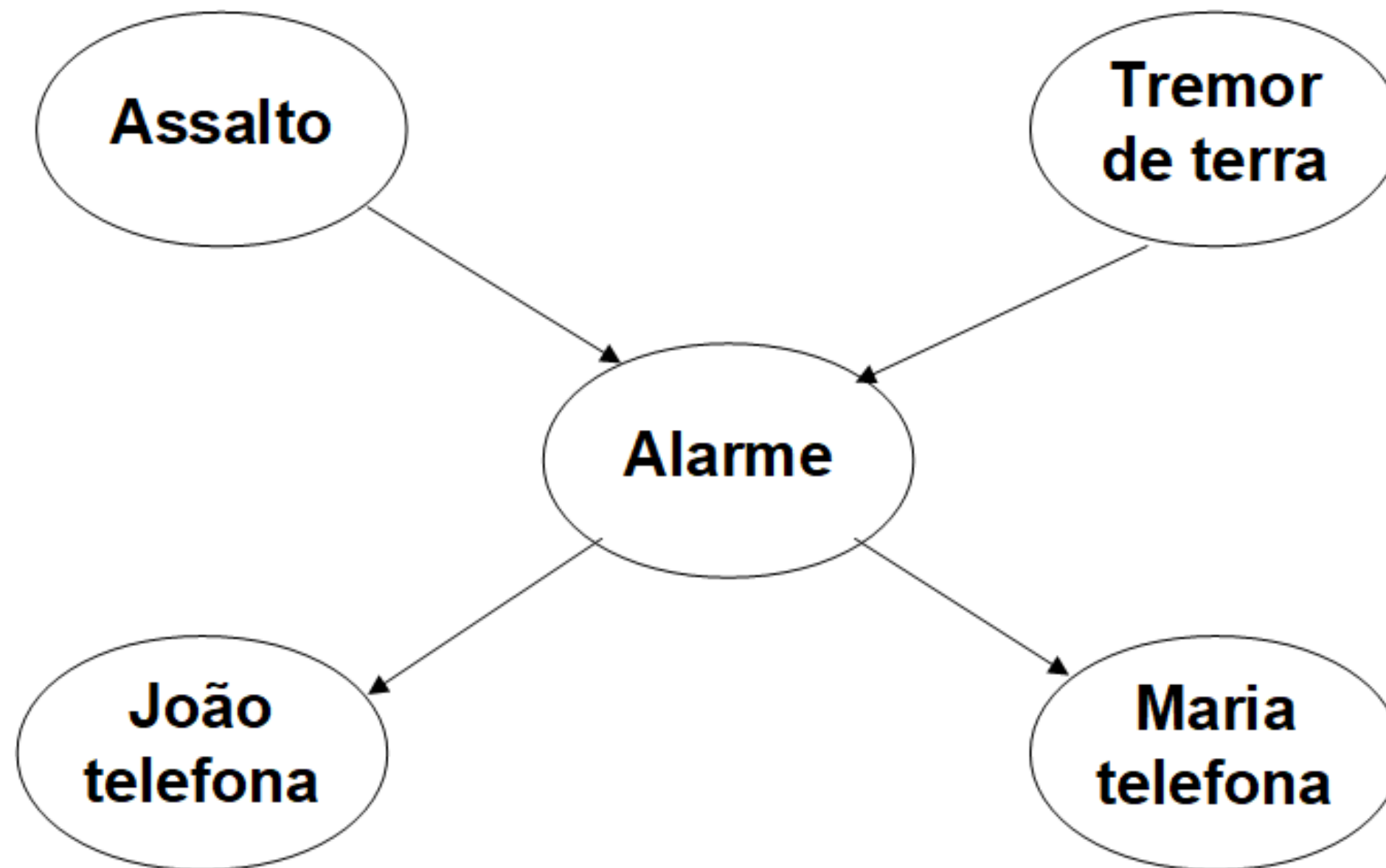
- VOCÊ POSSUI UM NOVO ALARME CONTRA LADRÕES EM CASA. ESTE ALARME É MUITO CONFIÁVEL NA DETECÇÃO DE LADRÕES, ENTRETANTO, ELE TAMBÉM PODE DISPARAR CASO OCORRA UM TERREMOTO.
- VOCÊ TEM DOIS VIZINHOS, JOÃO E MARIA, OS QUAIS PROMETERAM TELEFONAR-LHE NO TRABALHO CASO O ALARME DISPARE.
- JOÃO SEMPRE LIGA QUANDO OUVI O ALARME, ENTRETANTO, ALGUMAS VEZES CONFUNDE O ALARME COM O TELEFONE E TAMBÉM LIGA NESTES CASOS.
- MARIA, POR OUTRO LADO, GOSTA DE OUVIR MÚSICA ALTA E ÀS VEZES NÃO ESCUTA O ALARME.



# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### EXEMPLO (REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO)



# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

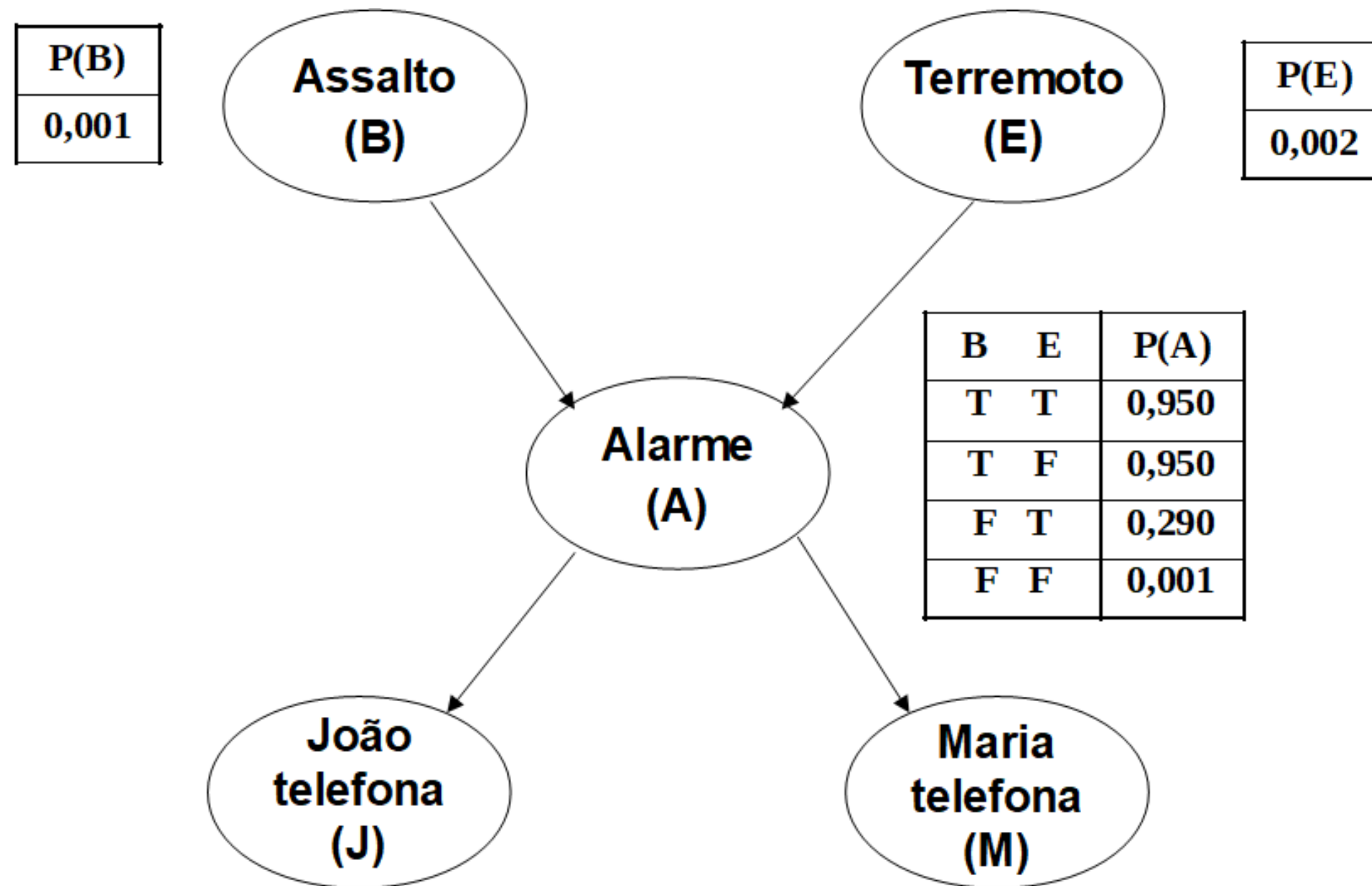
### EXEMPLO (TABELA DE PROBABILIDADES)

		<b>P(Alarme Assalto, Terremoto)</b>	
<b>Assalto</b>	<b>Terremoto</b>	<b>Verdade</b>	<b>Falso</b>
Verdade	Verdade	0,950	0,050
Verdade	Falso	0,950	0,050
Falso	Verdade	0,290	0,710
Falso	Falso	0,001	0,999

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### EXEMPLO (REDE BAYESIANA COM AS PROBABILIDADES)



# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

**QUESTÃO:** CALCULAR A PROBABILIDADE DO ALARME TER TOCADO, MAS, NEM UM LADRÃO NEM UM TERREMOTO ACONTECERAM, E AMBOS, JOÃO EM MARIA LIGARAM.

**DISTRIBUIÇÃO CONJUNTA DE PROBABILIDADE:**

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i | \text{pais}(x_i))$$

$$\begin{aligned} P(J, M, A, \neg B, \neg E) &= \\ &= P(J|A)P(M|A)P(A|\neg B, \neg E)P(\neg B)P(\neg E) \\ &= 0,900 \times 0,700 \times 0,001 \times 0,999 \times 0,998 = 0,00062 \end{aligned}$$

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### PROCEDIMENTO GERAL PARA CONSTRUÇÃO DE REDES BAYESIANAS:

- ESCOLHER UM CONJUNTO DE VARIÁVEIS  $X_i$  QUE DESCREVAM O DOMÍNIO;
- ESCOLHER UMA ORDEM PARA AS VARIÁVEIS;
- ENQUANTO EXISTIR VARIÁVEIS:
  - ESCOLHER UMA VARIÁVEL  $X_i$  E ADICIONAR UM NÓ NA REDE.
  - DETERMINAR OS NÓS PAIS( $X_i$ ) DENTRE OS NÓS QUE JÁ ESTEJAM NA REDE E QUE SATISFAÇAM A EQUAÇÃO ( \* ).
  - DEFINIR A TABELA DE PROBABILIDADES CONDICIONAIS PARA  $X_i$ .

O FATO DE QUE CADA NÓ É CONECTADO AOS NÓS MAIS ANTIGOS NA REDE GARANTE QUE O GRAFO SERÁ SEMPRE ACÍCLICO.

**(\*)** 
$$P(X_i | X_{i-1}, \dots, X_1) = P(X_i | Pais(X_i)) \text{ para } Pais(X_i) \subseteq \{x_{i-1}, \dots, x_1\}$$

# REDES SEMÂNTICAS

## REDES BAYESIANAS

### INFERÊNCIA USANDO REDES BAYESIANAS

*A DISTRIBUIÇÃO CONJUNTA PODE SER USADA PARA RESPONDER À QUALQUER PERGUNTA SOBRE O DOMÍNIO.*

***AS REDES BAYESIANAS, COMO REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DESTA DISTRIBUIÇÃO, PODEM TAMBÉM SER USADAS PARA RESPONDER QUALQUER QUESTÃO.***