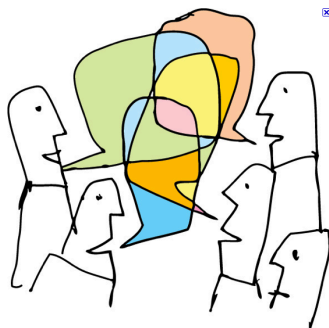




Inteligência Artificial



Representação de Conhecimento e Inferência

Profa. Vlória Pinheiro



REDES SEMÂNTICAS

Por que não se usar sempre a linguagem da lógica?

- Ao se tentar mapear conhecimento de senso comum para a lógica formal encontra-se problemas de expressividade:
 - Comumente, mapeia-se o “ou” e “se...então” aos operadores \vee e \rightarrow
 - A semântica da implicação lógica expressa uma relação entre os valores-verdade dos operandos e, muitas vezes, a expressão em língua natural “se...então” expressa uma relação de pertinência ou a posse de propriedades
 - Exemplo:
 - **Se** um pássaro é cardeal **então** ele é vermelho
 - Em LPO, tem-se:
 - $\forall x (\text{cardeal}(x) \rightarrow \text{vermelho}(x)) \equiv \forall x (\neg \text{vermelho}(x) \rightarrow \neg \text{cardeal}(x))$
 - O fato que a neve é branca não é evidência para a implicação causal que ela não é um cardeal ou que os cardeais são vermelhos

Origem das Redes Semânticas

- Um ser humano percebe um objeto e é capaz de raciocinar com ele porque ele tem um mapeamento deste conceito com outros conceitos, formando parte do conhecimento completo do mundo.
 - **Exemplo:** Através da experiência, associamos o conceito neve a outros conceitos: frio, branco, boneco de neve, escorregadio, gelo, inverno, pólo norte etc
 - A verdade sobre a proposição “a neve é branca” é apreendida a partir desta rede de associações
- Conforme experimentamos o mundo, vamos construindo certas categorias que nos ajudam a perceber novos detalhes. Vai-se formando, dessa maneira, uma estrutura hierárquica, com níveis mais elevados sendo empilhados sobre níveis mais simples.
- Charles Peirce, em 1909, propôs uma notação gráfica de nós e arcos denominada de **grafos existenciais**.

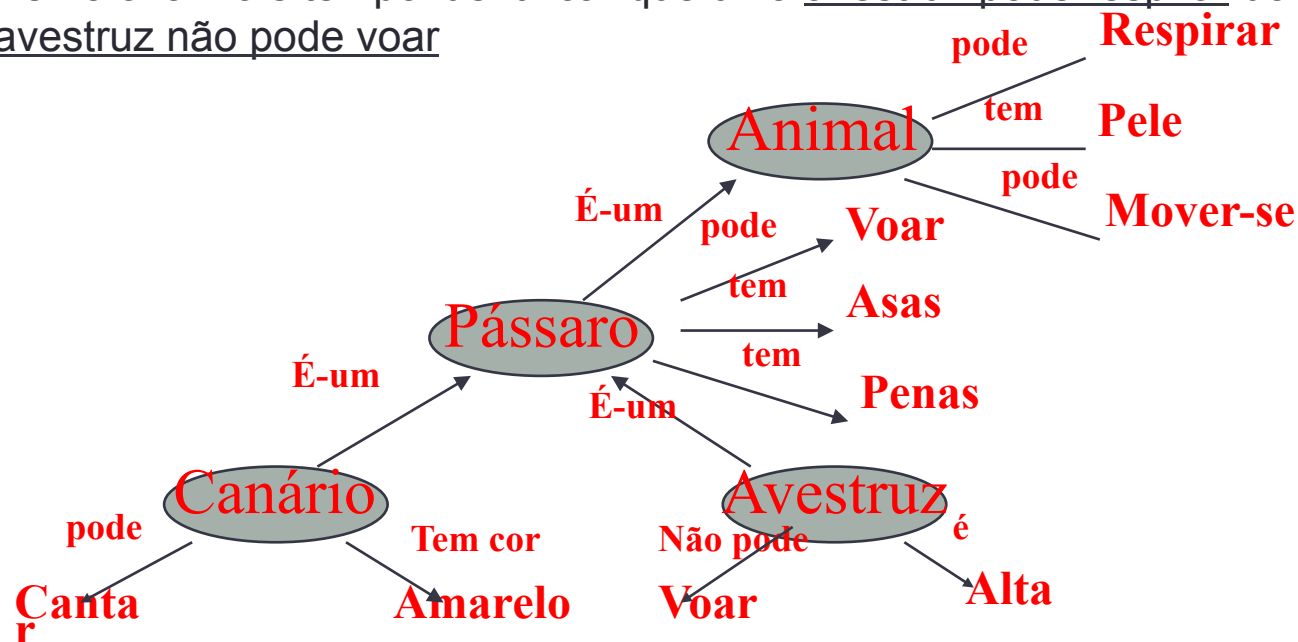
Origem das Redes Semânticas

- Collins e Quillian, em 1969, modelaram o armazenamento e gerenciamento da informação pelo ser humano através de uma rede semântica e identificaram, empiricamente, que:

- As informações eram armazenadas no nível mais abstrato
- As exceções são armazenadas no nível mais específico

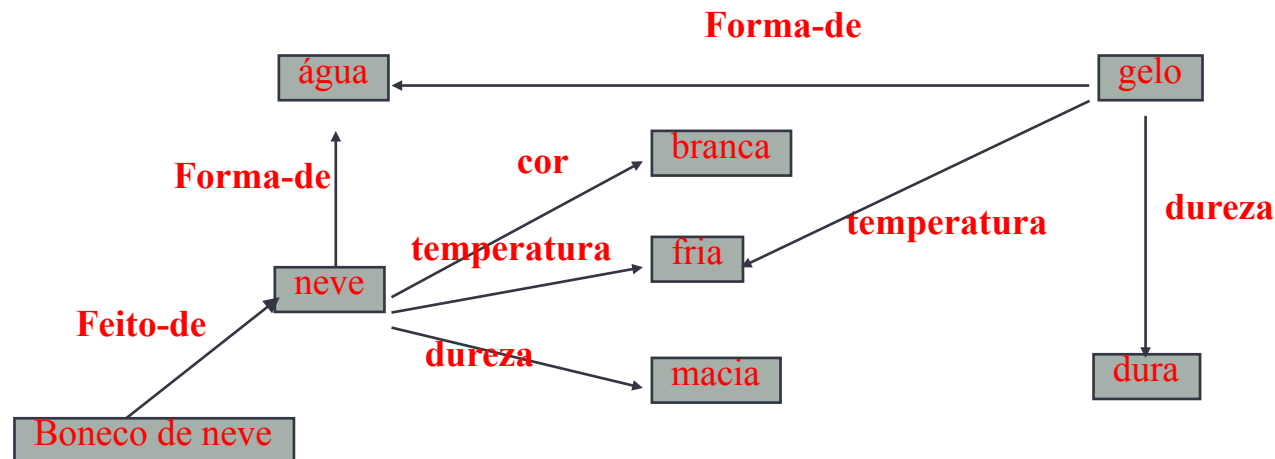
Por isso,

- demorava mais tempo identificar que um canário pode voar do que um canário pode cantar;
- Demorava mais tempo identificar que uma avestruz pode respirar do que uma avestruz não pode voar



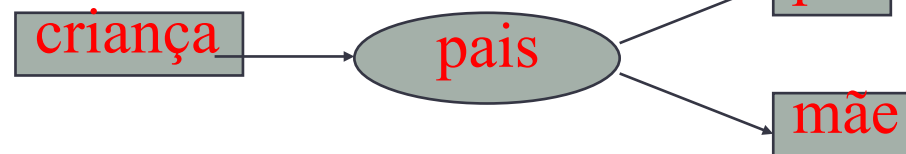
Redes Semânticas (*Semantic Networks*)

- Construções que representam conhecimento através de nós conectados por arcos.
- Existem muitas variantes, mas todas elas representam objetos individuais, categorias de objetos e relações entre eles.
- O poder expressivo das redes semânticas advém da definição de elos e regras de inferência, por exemplo, herança.

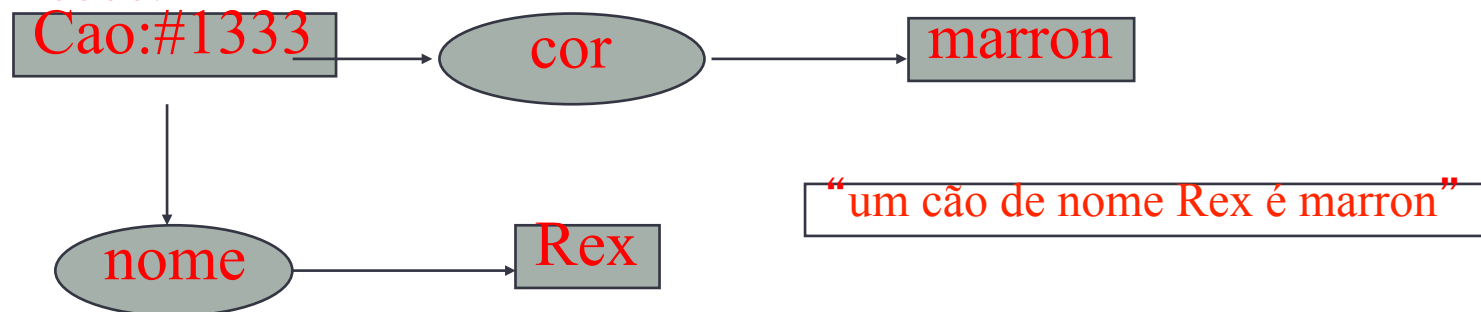


Grafos Conceituais

- Os Grafos Conceituais de John Sowa (1984) permitem uma representação semântica em rede, mais moderna e expressiva para proposições.
- Os nós ou são conceitos ou são relações entre conceitos (os arcos não são rotulados)
- É possível representar, mais facilmente, relações n-árias

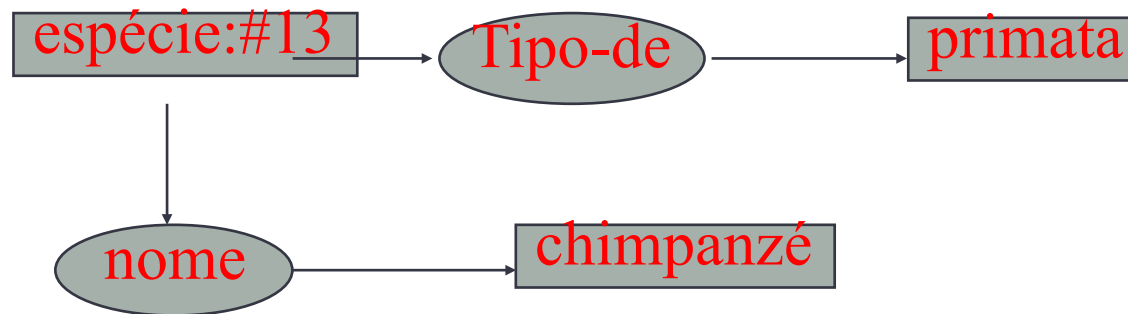


- É possível diferenciar a relação entre um indivíduo e sua classe e entre classe e sua superclasse.
- É possível diferenciar propriedades de indivíduos e propriedades de classes.



Grafos Conceituais

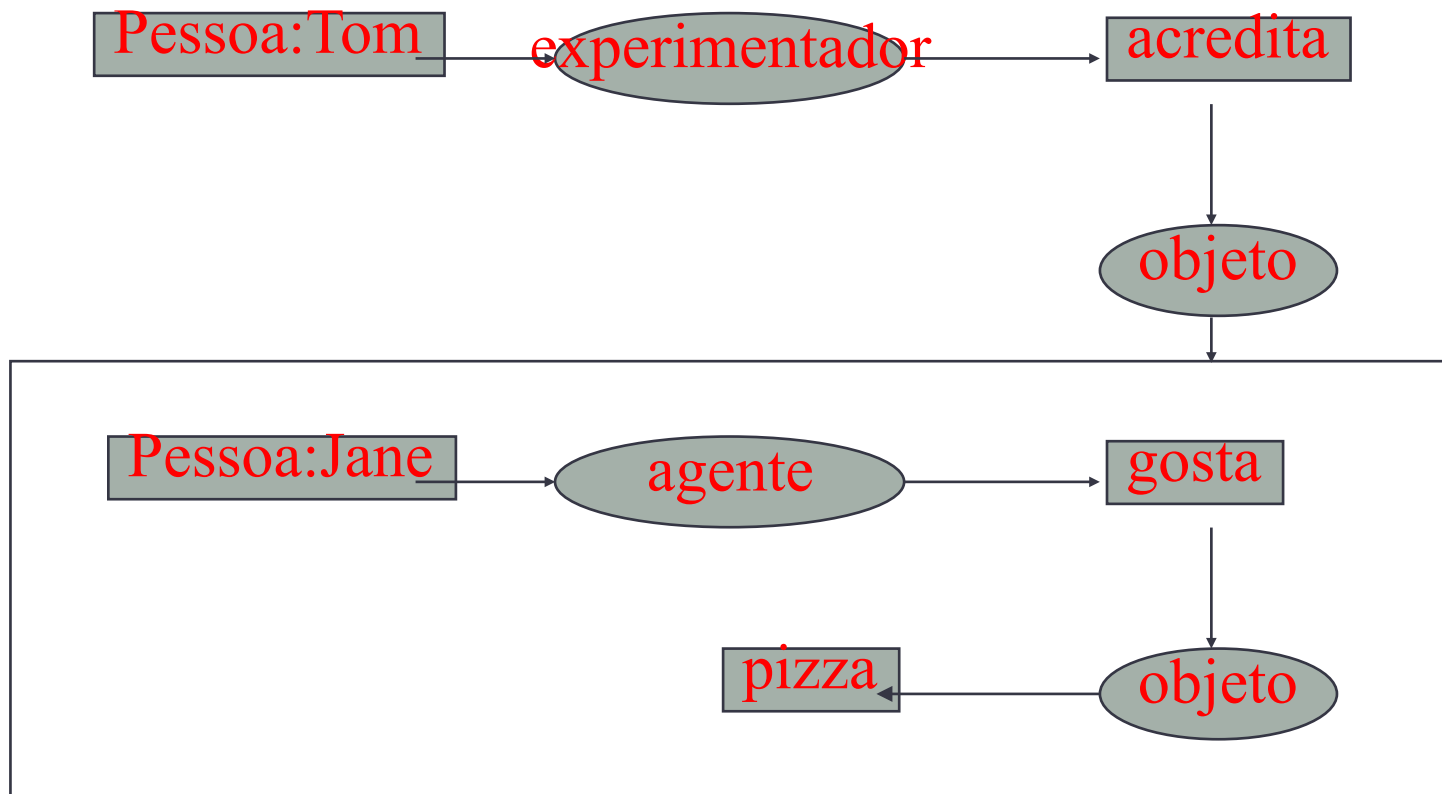
- É possível diferenciar o indivíduo de seu nome, tornando mais flexível representar sentenças como “Chimpanzé é o nome de uma espécie de primatas”



Grafos Conceituais

- É possível definir relações entre proposições:

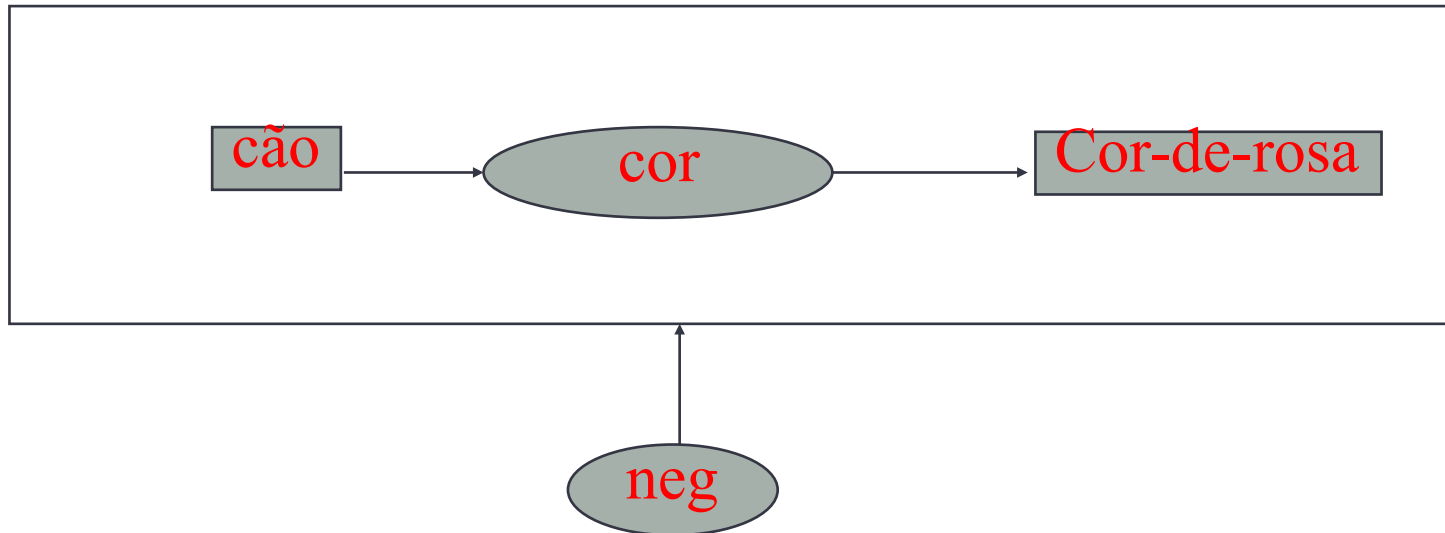
“Tom acredita que Jane gosta de pizza”



Grafos Conceituais

- É possível representar proposições negativas:

“Não existem cães cor-de-rosa”



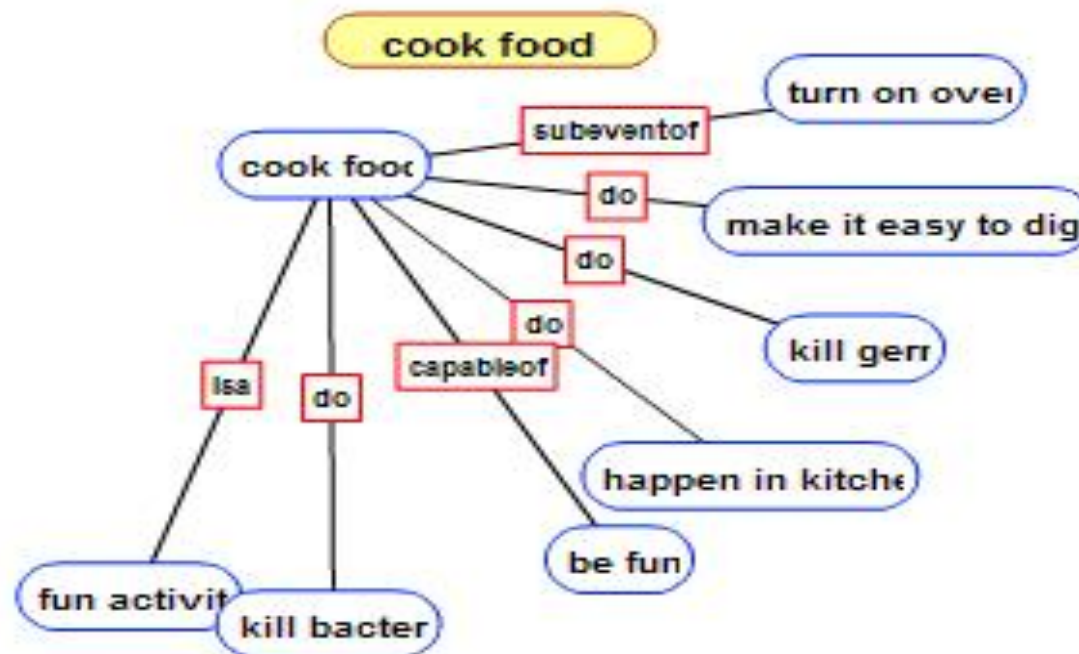
Grafos Conceituais

- Em grafos conceituais:
 - Conceitos genéricos sejam quantificados existencialmente
 - Usando-se a negação e a quantificação existencial podemos representar a quantificação existencial
 - Usando-se a negação e a conjunção podemos representar a disjunção
- Logo,
 - Os grafos conceituais são equivalentes ao cálculo de predicados em seu poder expressivo

Aplicações de Redes Semânticas

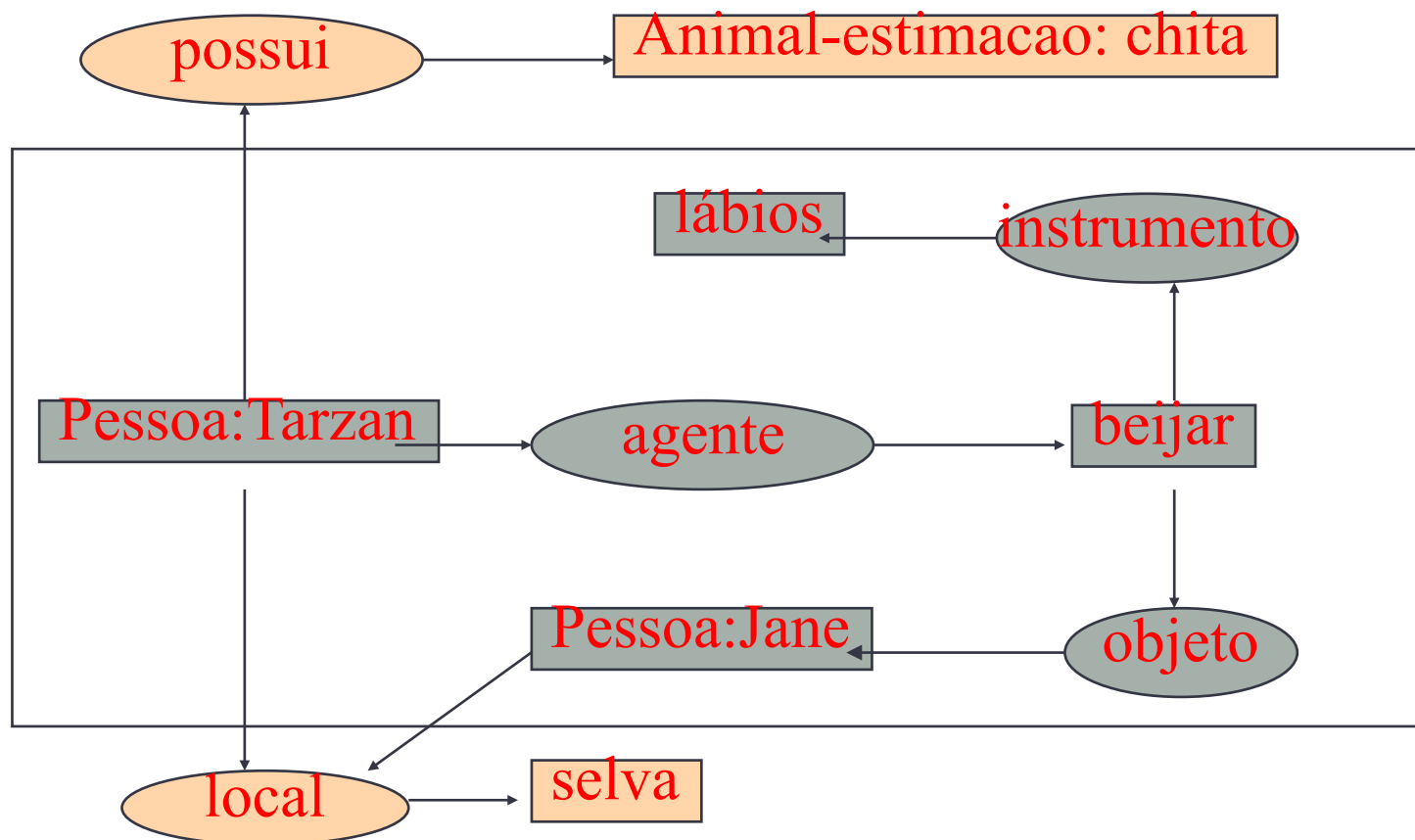
- ConceptNet

- é a maior base de conhecimento de senso-comum livre. Sua estrutura de representação é uma rede semântica cujos nós estão em linguagem natural. Atualmente contém cerca de 250.000 elementos.



Aplicações de Grafos Conceituais

- Processamento de Linguagem Natural
 - Interpretação Semântica: produz uma representação do significado do texto usando grafo conceitual com a inclusão de conhecimento do mundo necessário para a compreensão total da sentença
 - Exemplo: **Tarzan beijou Jane**

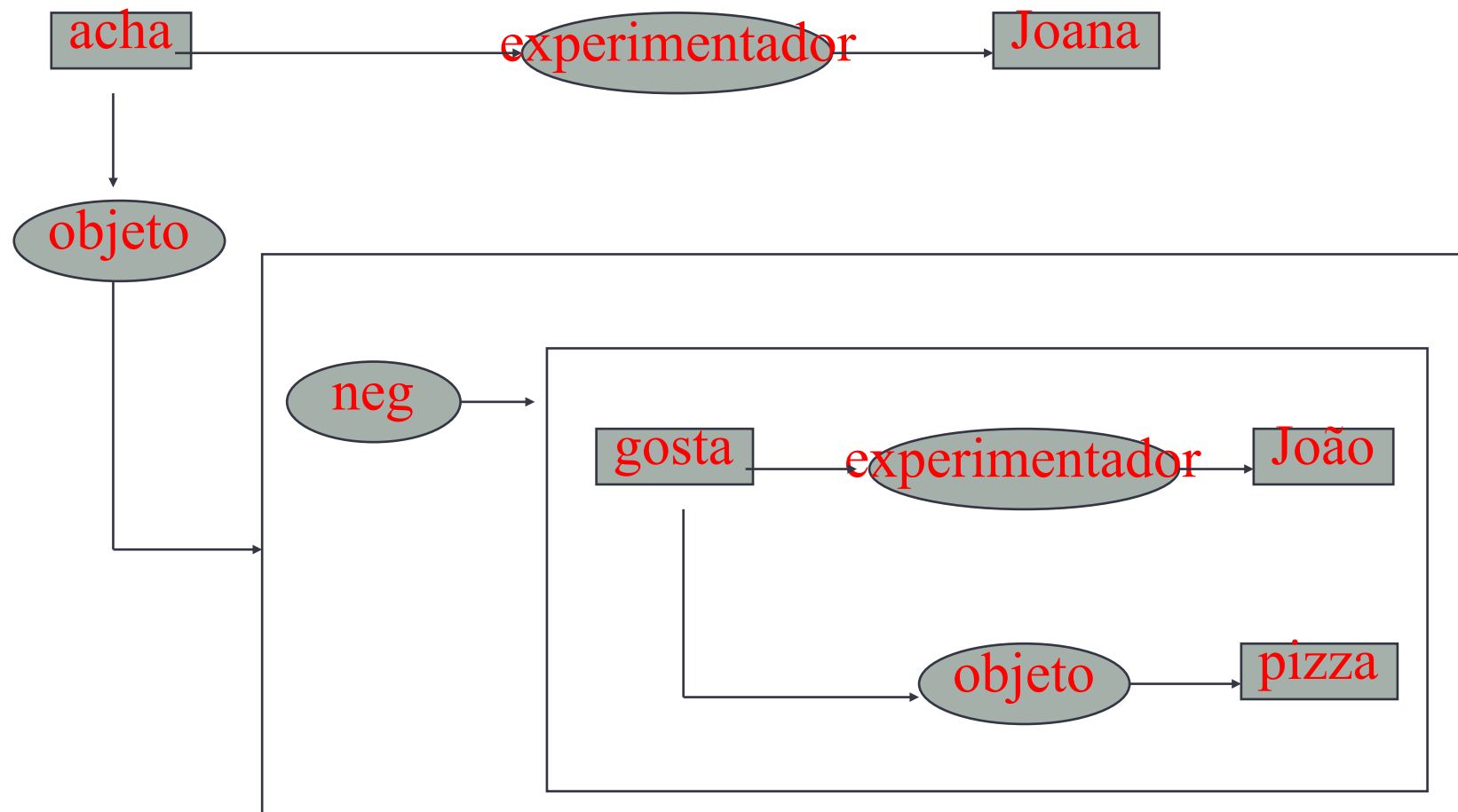


Exercicio 1)

- Traduza cada uma das sentenças a seguir em cálculo de predicados e grafos conceituais
 - Beth deu uma camisa para João
 - Paulo derrubou a árvore com um machado
 - Coloque todos os ingredientes numa tigela e misture bem
 - Os jogadores de basquete são altos

Exercicio 2)

- Traduza o grafo conceitual abaixo para uma sentença em Português





FRAMES

Origem dos Frames

- “Quando alguém encontra uma nova situação, recupera da memória uma estrutura chamada *frame*” (Marvin Minsky, 1975)
- Estruturamos as informações sobre o mundo em entidades complexas e os detalhes são associados como “atributos” da entidade, ambos são revisados a cada nova experiência. Portanto, os **frames** representam essas entidades complexas.

Frames X Redes Semânticas

Entidades e suas características são organizadas em um único frame	Entidades e suas características são representadas em uma rede de nós relacionados
É mais clara a distinção de qual objeto está sendo descrito	Existe apenas uma coleção de nós, tornado subjetiva a definição de qual objeto é o primordial
Organização hierárquica entre entidades de mais alto nível, facilitando a recuperação dessas entidades	<u>Nós</u> representando objetos e <u>nós</u> representando atributos estão no mesmo nível
Permite associar procedimentos às entidades representadas (representação procedimental)	Representação estática

Características Principais

- Um frame é identificado por um nome e descreve um objeto complexo através de um conjunto de atributos
- Um Sistema de Frames é um conjunto de frames organizados hierarquicamente.
- São uma evolução das Redes Semânticas:
 - nós são substituídos por frames
 - arcos são substituídos por atributos (**slots**)
 - procedimentos podem ser anexados a um frame

Características Principais

- Possuem, no mínimo, dois atributos:
 - Nome
 - “Tipo-de” ou “É-um”
- Cada atributo
 - aponta para um outro frame ou para um tipo primitivo, ex. string;
 - consiste em um conjunto de **facet**as (atributos de atributos).

Características Principais

- Facetas: descrevem um informação ou algum procedimento relativo ao atributo.
- Exemplos de Facetas:
 - **Valor**: especifica o único valor possível.
 - **Valor default**: especifica o valor assumido pelo atributo caso não haja nenhuma informação a esse respeito.
 - **Tipo**: indica o tipo de dado do valor.
 - **Domínio**: descreve os valores possíveis para o atributo.
 - **Procedimentos *demon***: anexados aos frames, disparados por consultas ou atualizações (triggers em SGBDs). Ex: realizar cálculo quando um slot for alterado

Características Principais

- Os sistemas de **Frames** suportam herança de classe:
 - Os *slots* e valores default de um frame são herdados na hierarquia classe/subclasse e classe/instância
 - Ex: Um telefone de hotel herda todas as características de um telefone comum: possui número, possui teclado, fone etc; e pode ter características próprias: todas as ligações são feitas pela telefonistas;

Exemplo de Frames

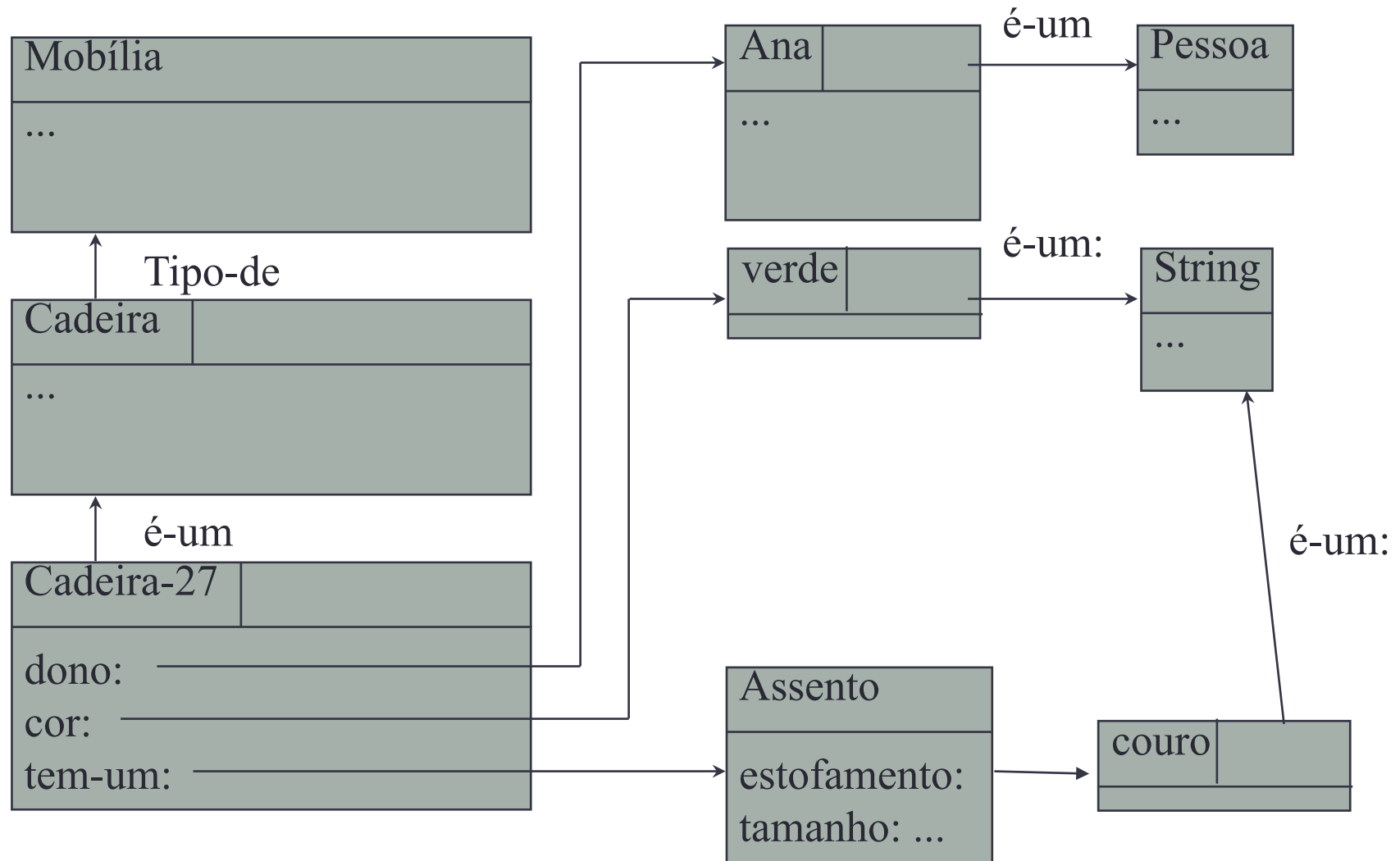
Cômodo			
Atributo	Default	Tipo	Procedimento
Nº de paredes	4	número	
Formato	retangular	símbolo	
Altura	3	número	
Área		número	
Volume		número	
			Área * Altura

↑ Tipo-de

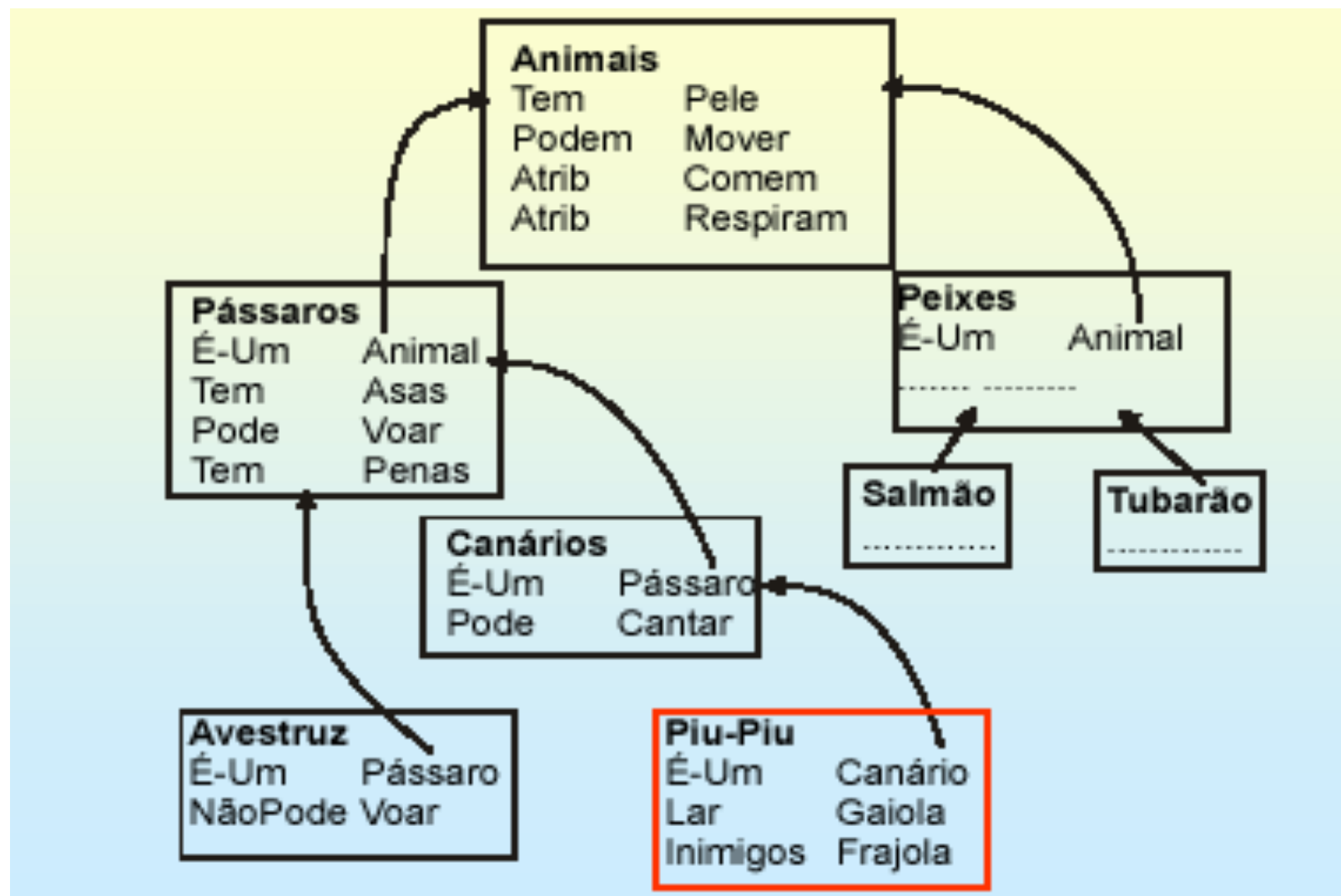
Sala		
Atributo	Default	Tipo
Mobiliário	(sofá,mesa,cadeiras)	lista de símbolos
Finalidade	convivência	símbolo
Área	25	número

→ Mobília

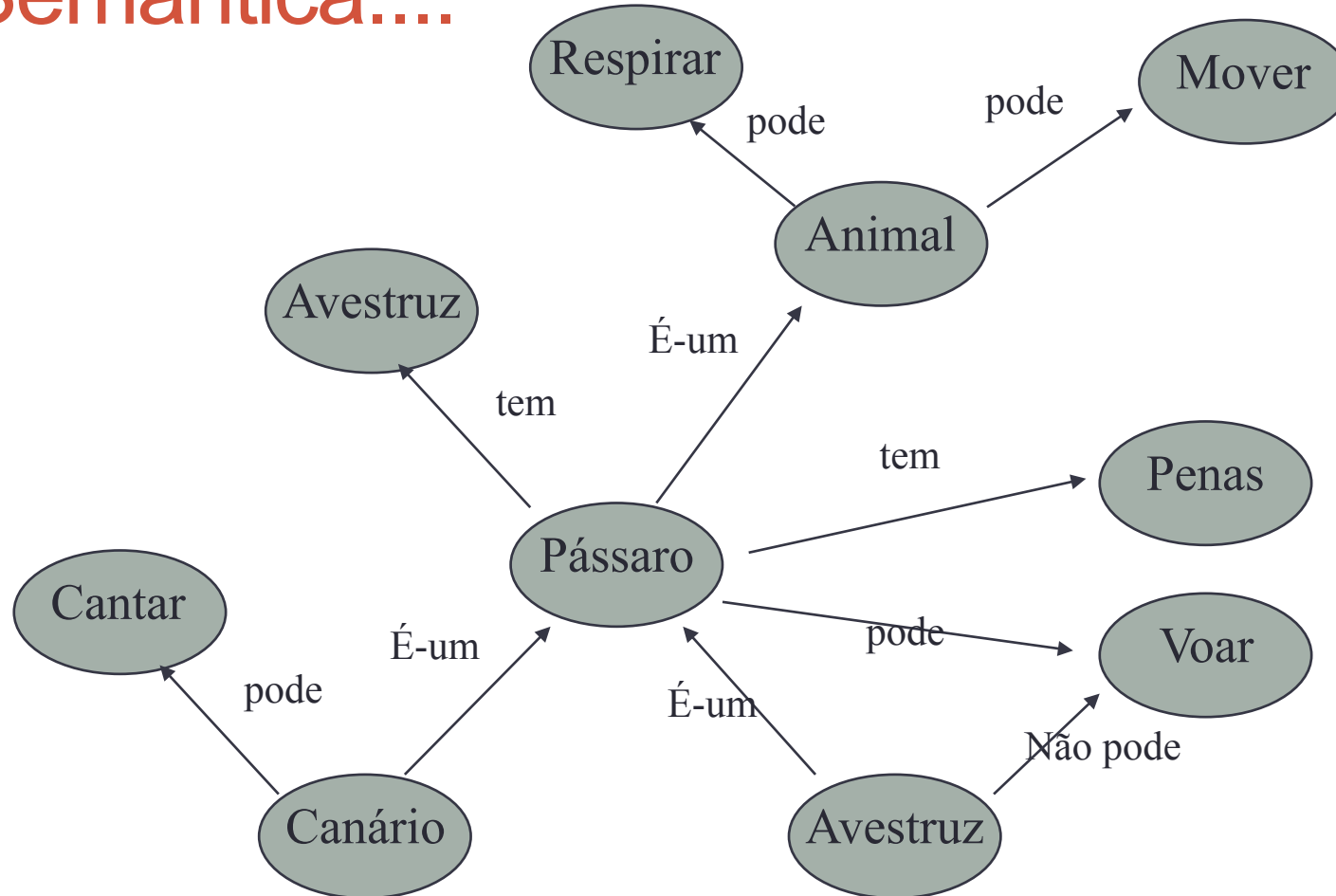
Exemplo de Frames



Exemplo de Frames



Comparando com a Rede Semântica....



Funções Principais

- Reconhecer que uma dada situação pertence a uma certa categoria (matching)
 - ex. reconhecimento visual de uma sala de aula
- Interpretar a situação e/ou prever o que surgirá em termos da categoria reconhecida (matching)
 - ex. pessoa com revólver (revólver arma -> perigo)
- Capturar propriedades de senso comum sobre pessoas, eventos e ações
 - foi a primeira tentativa de estruturar conhecimento declarativo sem usar regras.
- Deu origem ao que chamamos hoje de **Ontologias**



ONTOLOGIAS

Definição de Ontologia

- Para Filosofia, é o estudo das coisas que existem. Parte da filosofia que trata da natureza do ser, da realidade, da existência dos entes. Enfim, estuda a natureza das coisas e a organização da realidade (grego *ontos*+*logia* = "conhecimento do ser")
- Em Ciência da Computação, uma **ontologia** é um modelo de dados que representa um conjunto de conceitos dentro de um domínio e os relacionamentos entre estes. Uma ontologia é utilizada para realizar inferência sobre os objetos do domínio (Fonte: wikipedia).

Definição de Ontologia

- "Uma ontologia é uma especificação explícita e formal de uma conceitualização compartilhada" (Gruber)
 - "conceitualização": um modelo abstrato de algum fenômeno no mundo que identifica conceitos relevantes daquele fenômeno.
 - "explícita": significa que os tipos de conceitos usados e as restrições a esses conceitos estão definidas explicitamente.
 - "formal": refere-se ao fato de que a ontologia deve ser legível para as máquinas. Com isso, diferentes graus de formalidade são possíveis.
 - "compartilhada": significa que a ontologia deve ser comum e utilizável por vários agentes

Definição de Ontologia

- "Uma base de conhecimentos descrevendo os fatos assumidos como verdadeiros por uma comunidade de usuários" (Guarino)
- Especificação parcial de um vocabulário conceitual para ser usado na formulação de teorias no nível do conhecimento (*knowledge level*) acerca de um domínio do discurso.

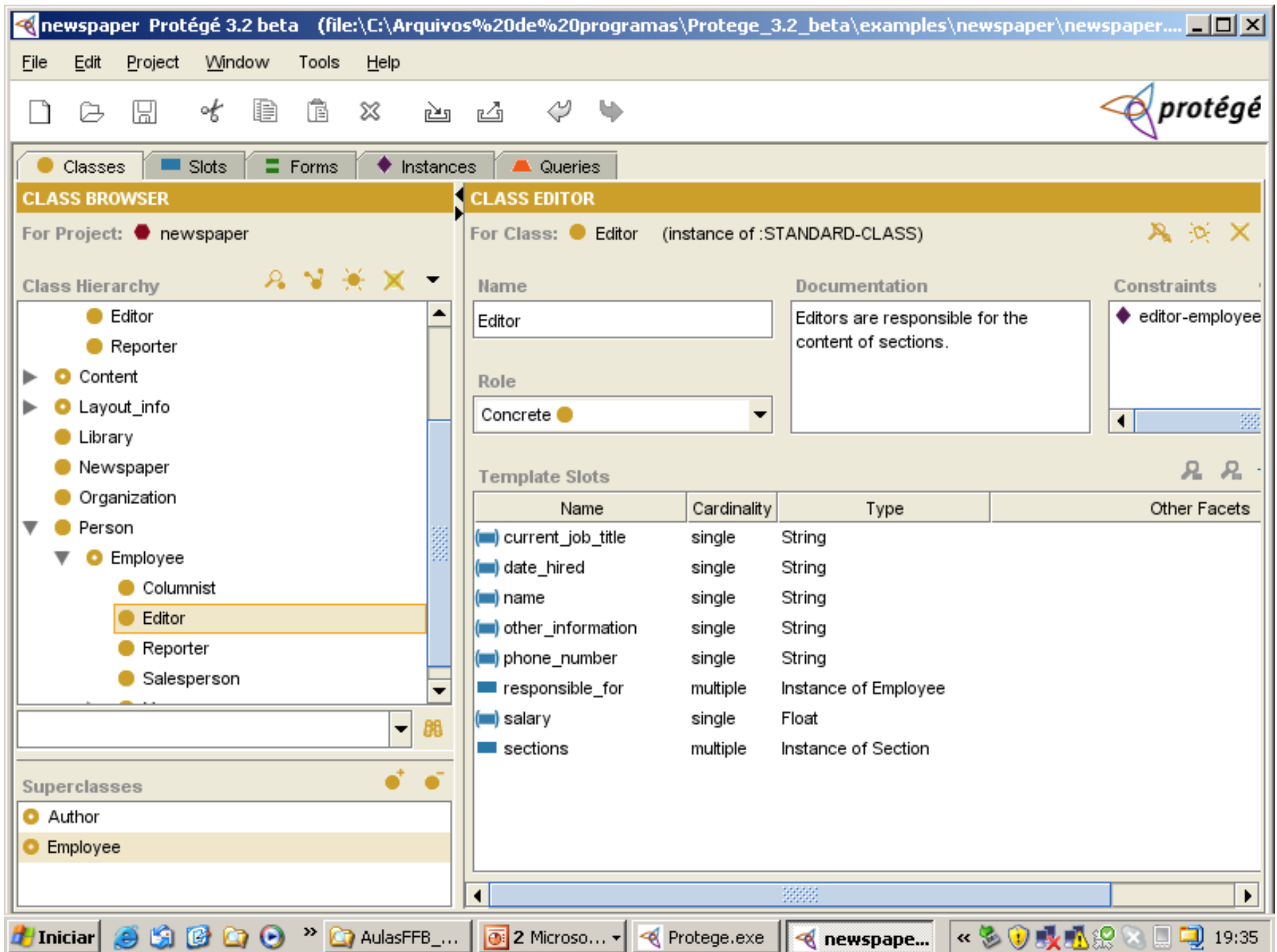
O principal requisito de uma ontologia é suportar o reuso e o compartilhamento de conhecimento (Enrico Motta)

Definição de Ontologia

- Não é possível representar o universo com níveis exatos de detalhes, é preciso aproximar → categorizar
- Deve-se restringir a representação a partes específicas do universo (chamadas de domínios) com detalhes suficientes para permitir a resolução de problemas práticos
- Escolha de um conjunto de conceitos envolve um **compromisso ontológico**

Aplicações de Ontologia

- Ontologia como especificação
 - ontologia modela a aplicação de um domínio.
 - produz um vocabulário para especificar os requisitos para uma ou mais aplicações.
- Acesso comum a informação
 - Múltiplas aplicações terem acesso a fontes de informações heterogêneas (ex: um glossário de termos com diferentes jargões)
 - Melhora a interoperabilidade entre aplicações.
- Busca baseada em ontologia
 - Uso da ontologia para buscar em uma base de informações os recursos (documentos, páginas da Web) desejados.
 - Melhora na precisão da busca.
 - Redução do tempo total gasto na busca.



Usando o Protégé (Editor de Ontologias)

- Imagine o cenário de uma Universidade
 - Uma Universidade é composta de Centros que representam as áreas do conhecimento e Departamentos que representam as áreas administrativas da Universidade
 - Um centro engloba os cursos relacionados a sua área de conhecimento
 - Cada curso possui um código, um nome, um número de créditos mínimo a realizar, as disciplinas básicas e optativas, número de disciplinas eletivas e um tipo (graduação, especialização, mestrado, doutorado, extensão)
 - Cada disciplina possui um código, um nome, o total de créditos (≥ 2 e ≤ 6)
 - Os alunos se matriculam em disciplinas e possuem um número de matrícula
 - Professores ensinam disciplinas
 - A Universidade possui empregados (Professor, Diretor, Coordenador, Reitor, Administrativo)
 - Um empregado tem uma data de admissão e data de demissão
 - Um Diretor dirige um centro ou um departamento durante um período
 - Um Reitor dirige a Universidade durante um período
 - Um coordenador coordena um curso durante um período
 - Empregados administrativos são lotados em Departamentos ou Centros
 - Professores são lotados em Centros
 - Uma pessoa possui nome e data de nascimento



REDES BAYESIANAS

Caracterização

- Os agentes baseados em lógica admitem o compromisso que as sentenças são falsas, verdadeiras ou desconhecidas.
- Para que um agente lógico consiga tomar decisões ou derivar planos de ação é necessário que ele conheça fatos suficientes sobre o ambiente
- No entanto, a verdade total sobre o ambiente muitas vezes é impossível e
 - Os agentes devem agir sob incerteza

Exemplo:

- Regras para diagnóstico no domínio odontológico
 - $\forall p \text{ Sintoma}(p, \text{DorDeDente}) \rightarrow \text{Doenca}(p, \text{Cárie})$
 - Problema: Nem todos os pacientes com dor de dente têm cárie
 - $\forall p \text{ Sintoma}(p, \text{DorDeDente}) \rightarrow \text{Doenca}(p, \text{Cárie}) \vee \text{Doenca}(p, \text{Gengivite}) \vee \dots$
 - Problema: para tornar a sentença sempre verdadeira teríamos um lista ilimitada...
 - $\forall p \text{ Doenca}(p, \text{Cárie}) \rightarrow \text{Sintoma}(p, \text{DorDeDente})$
 - Problema: Nem todos os pacientes que têm cárie sentem dor de dente
 - Poderíamos incluir no lado esquerdo todas as qualificações para que uma cárie cause dor, porém ela seria logicamente exaustiva.

LPO: Ferramenta para tratar Incerteza ?

- Não é apropriado usar a LPO para lidar com domínios usualmente incertos:
 - Custo: é oneroso enunciar e tratar o conjunto completo de antecedentes ou consequentes das regras;
 - Ignorância teórica: o conhecimento científico em geral é incompleto;
 - Ignorância prática: não é possível testar todas as regras contra todos os pacientes.
- A relação entre causas e efeitos não é uma relação de consequência lógica, nem em um sentido nem no outro. Temos um **grau de crença** sobre essa relação e nas sentenças resultantes
- A principal ferramenta para lidar com graus de crença e incerteza é a **Teoria da Probabilidade**

Teoria da Probabilidade

- Atribui a cada sentença um grau numérico de crença entre 0 e 1
 - Ex: acreditamos, com 80% de chance, que um paciente que sente dor de dente tenha uma cárie.
- Os graus de crença são aplicados a proposições ou **variáveis aleatórias**
- A linguagem da Teoria da Probabilidade é um pouco mais expressiva que a Lógica Proposicional: possui variáveis aleatórias para se referir a partes do mundo e temos um grau de crença associado a elas.
- **Variáveis Aleatórias:** uma variável aleatória é equivalente ao símbolo proposicional da Lógica proposicional:
 - “Carie” = “o dente siso inferior de Cláudia tem carie”
 - Domínio(Carie)=<verdadeiro,falso>
 - Tipos:
 - booleanas: tem como domínio a tupla <verdadeiro,falso>. Abreviamos “Carie”=verdadeiro por *carie* e “DorDeDente”=falso por \neg *dordedente*.
 - discretas: admitem um domínio enumerável. Ex: Dominio (Tempo) =<ensolarado,chuvoso,nublado,nevoento>
 - continuas: admitem um domínio não-enumerável. Ex: Dominio(X)=[0,1]

Teoria da Probabilidade

- **Eventos Atômicos:**

- Especificação completa sobre o estado do mundo sobre o qual o agente está inseguro
- Atribuição de valores a todas as V.A que descrevem o mundo
 - Ex: Se o mundo a ser tratado compõe-se das V.A Carie e DorDeDente então temos 4 eventos atômicos distintos
- Propriedades:
 - São mutuamente exclusivos
 - A disjunção de todos os eventos atômicos é uma verdade

Teoria da Probabilidade

- **Probabilidade Incondicional:**

- É o grau de crença atribuído a proposição na ausência de quaisquer outras informações
 - $P(\text{Carie}=\text{verdadeiro})=0,1$ ou $P(\text{carie})=0,1$

- **Distribuição de Probabilidade Incondicional:**

- $P(\text{Tempo})=\langle 0.7, 0.2, 0.08, 0.02 \rangle$, onde:
 - $P(\text{Tempo}=\text{ensolarado})=0.7$
 - $P(\text{Tempo}=\text{chuvoso})=0.2$
 - $P(\text{Tempo}=\text{nublado})=0.08$
 - $P(\text{Tempo}=\text{nevoento})=0.02$

- **Distribuição de Probabilidade Conjunta:**

- $P(\text{Carie}, \text{DorDeDente}, \text{Tempo})$ denota as probabilidades de todas as combinações de valores entre as variáveis aleatórias. Pode ser representada por uma tabela $2 \times 2 \times 4$ com 16 entradas.
- Especifica a probabilidade de todo evento atômico \Rightarrow especificação completa da incerteza sobre o mundo em questão

Teoria da Probabilidade

- **Probabilidade Condicional:**

- É o grau de crença atribuído a proposição (ou variáveis aleatórias) após algumas evidências sobre o valor de outras variáveis aleatórias
- $P(a|b)$ denota a probabilidade de a dado que tudo que sabemos é b
- Exemplo:
 - $P(\text{carie} | \text{dordedente})=0,8$
- Regra do produto:
 - $P(a \wedge b) = P(a|b) P(b)$
 - Para **a** e **b** serem verdade é necessário que **b** seja verdade e que **a** seja verdadeira dado **b**
 - $P(a|b) = P(a \wedge b) / P(b)$
- Distribuição de Probabilidade Condicional:
 - $P(X|Y)$ fornece os valores de $P(X=x_i|Y=y_j)$ para todo i,j .
 - Ex: $P(\text{Carie} | \text{DorDeDente})$
 - $P(\text{carie} | \text{dordedente})=0,8$
 - $P(\text{carie} | \neg \text{dordedente})=0,2$
 - $P(\neg \text{carie} | \text{dordedente})=0,3$
 - $P(\neg \text{carie} | \neg \text{dordedente})=0,7$

Teoria da Probabilidade

- **Axiomas de Probabilidade**

- $0 \leq P(a) \leq 1$
- Proposições necessariamente verdadeiras tem $P(a) = 1$
- $P(a \vee b) = P(a) + P(b) - P(a \wedge b)$
- $P(a) = 1 - P(\neg a)$
- $P(a) = \sum P(e_i)$, onde e_i pertencem ao conjunto dos eventos onde a é verdadeira.

Inferência Probabilística

- Como os axiomas podem ser usados para formar inferências?
- Base de Conhecimento = Distribuição Conjunta Total
- Ex: Carie, DorDeDente, Boticao

	dordedente		\neg dordedente	
	boticao	\neg boticao	boticao	\neg boticao
carie	0,108	0,012	0,072	0,008
\neg carie	0,016	0,064	0,144	0,576

Exercício

- Qual a probabilidade de se ter cárie?
- Qual a probabilidade de se ter cárie ou dor de dente?
- Qual a probabilidade de se ter cárie dado que se tem a evidência de dor de dente?
- Qual a probabilidade de não se ter cárie dado que se tem a evidência de dor de dente?

Normalização - Exemplo

$$P(\text{Carie} \mid \text{dordedente}) = P(\text{Carie}, \text{dordedente}) / P(\text{dordedente})$$

Fazendo $\alpha = 1 / P(\text{dordedente})$, temos:

$$\begin{aligned} P(\text{Carie} \mid \text{dordedente}) &= \alpha P(\text{Carie}, \text{dordedente}) \\ &= \alpha [P(\text{Carie}, \text{dordedente}, \text{boticao}) + P(\text{Carie}, \text{dordedente}, \neg \text{boticao})] \\ &= \alpha [\langle 0,108, 0,016 \rangle + \langle 0,012, 0,064 \rangle] \\ &= \alpha \langle 0,12, 0,08 \rangle \\ &= \langle 0,6, 0,4 \rangle \end{aligned}$$

Normalização – Procedimento de Inferência Geral

- Notação:
 - X: variável de consulta
 - E: variáveis de evidência
 - e: conjunto de valores observados para E
 - Y: variáveis não observadas
- $P(X \mid e) = \alpha P(X, e) = \alpha \sum_Y P(X, e, y)$

Independência

- É a propriedade segundo a qual o valor de crença em uma proposição a independe do valor de crença na proposição b , ou $P(a | b) = P(a)$
- Esta propriedade também é válida para variáveis aleatórias X e Y :
 - $P(X | Y) = P(X)$
 - $P(Y | X) = P(Y)$
 - $P(X, Y) = P(X) \cdot P(Y)$
- Exercício:
 1. Adicione uma 4ª. variável Tempo com quatro valores possíveis = {ensolarado, chuvoso, nublado, nevoento) na distribuição conjunta total de P (Carie, DorDeDente, Boticao)
 2. Calcule $P(\text{dordedente}, \text{boticao}, \text{carie}, \text{Tempo}=\text{nublado})$

Independência

- Pelo exercício anterior podemos verificar que as asserções de independência reduzem drasticamente a quantidade de informações necessárias para especificar a distribuição conjunto total
- No entanto, a separação clara e completa de quais variáveis do domínio são independentes de quais outras é bastante difícil em domínios reais. Uma conexão indireta já exclui a independência.

Regra de Bayes

- Regra do Produto:
 - $\underline{P(a \wedge b) = P(a | b) P(b)}$ ou $\underline{P(a \wedge b) = P(b | a) P(a)}$
- Igualando os dois membros da direita e dividindo por $P(a)$, obtemos:
 - $\underline{P(b | a) = P(a | b) P(b) / P(a)}$
- Esta é a Regras de Bayes

Ela parece útil?

Regra de Bayes

- Ela se mostrou bastante útil na prática e é a base da maioria dos sistemas de IA de inferência probabilística
- Por que?
 - O conhecimento probabilístico geralmente está disponível na forma de conhecimento causal = $P(\text{efeito} \mid \text{causa})$
 - Ou seja, sabemos mais sobre a probabilidade de termos um dado efeito dado uma causa
 - E queremos saber a $P(\text{causa} \mid \text{efeito})$
- Exercício:
 - Um médico sabe que a meningite faz o paciente ter uma rigidez no pescoço em 50% das vezes. Alguns fatos incondicionais são conhecidos: a probabilidade de um paciente ter meningite é $1/50000$ e a probabilidade de um paciente ter rigidez no pescoço é de $1/20$. Qual a probabilidade dele ter meningite dado que ele tem rigidez no pescoço?

Exercícios

1. Resolva os seguintes exercícios do livro-texto, pags. 475 a 478:
 - 13.1
 - 13.6
 - 13.8
 - 13.12
 - 13.15
 - 13.16

Independência Condicional

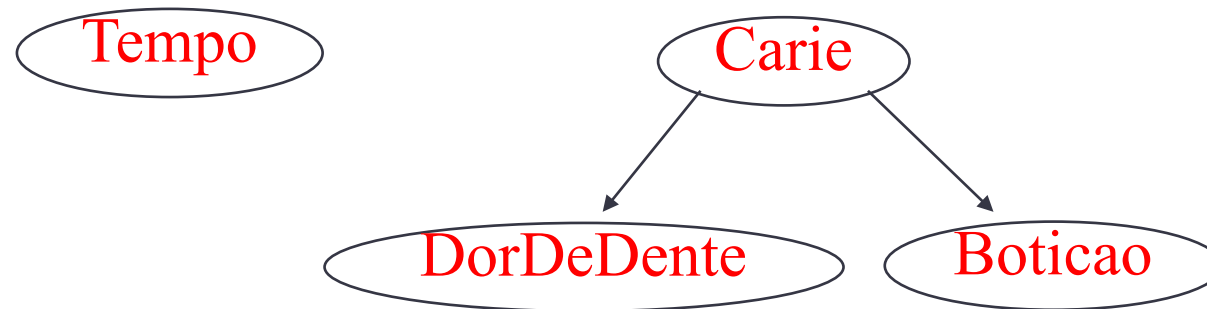
- É a propriedade segundo a qual o valor de crença em uma proposição a independe do valor de crença na proposição b , dada uma evidência c , ou seja, $P(a, b | c) = P(a | c) \cdot P(b | c)$
- Esta propriedade também é válida para variáveis aleatórias X e Y :
 - $P(X, Y | Z) = P(X | Z) \cdot P(Y | Z)$
 - $P(X | Y, Z) = P(X | Z)$
 - $P(Y | X, Z) = P(Y | Z)$
- Ex: No domínio das variáveis DorDeDente, Boticao e Carie:
 - $P(\text{DorDeDente}, \text{Boticao}, \text{Carie})$
 - $= P(\text{DorDeDente}, \text{Boticao} | \text{Carie}) \cdot P(\text{Carie})$
 - $= P(\text{DorDeDente} | \text{Carie}) \cdot P(\text{Boticao} | \text{Carie})$
- Isto porque DorDeDente e Boticao são condicionalmente independentes dada a evidencia de carie

Representação de Conhecimento Incerto

- Até aqui:
 - A Distribuição Conjunta Total pode responder a qualquer pergunta sobre o domínio. No entanto, pode ser intratável em um domínio com um número grande de variáveis;
 - Independência e Independência Condicional entre variáveis reduz o número de probabilidades que precisam ser especificadas
- Redes Bayesianas:
 - Grafo acíclico orientado em que cada nó contém informações de probabilidade quantitativa
 - Nó da rede = variável aleatória
 - Setas orientadas = se existe seta do nó X ao nó Y indica que X tem influência direta sobre Y e que X é pai de Y
 - Cada nó X_i tem uma distribuição de probabilidade condicional $P(X_i \mid \text{Pais}(X_i))$ que representa o efeito dos pais sobre o nó X_i

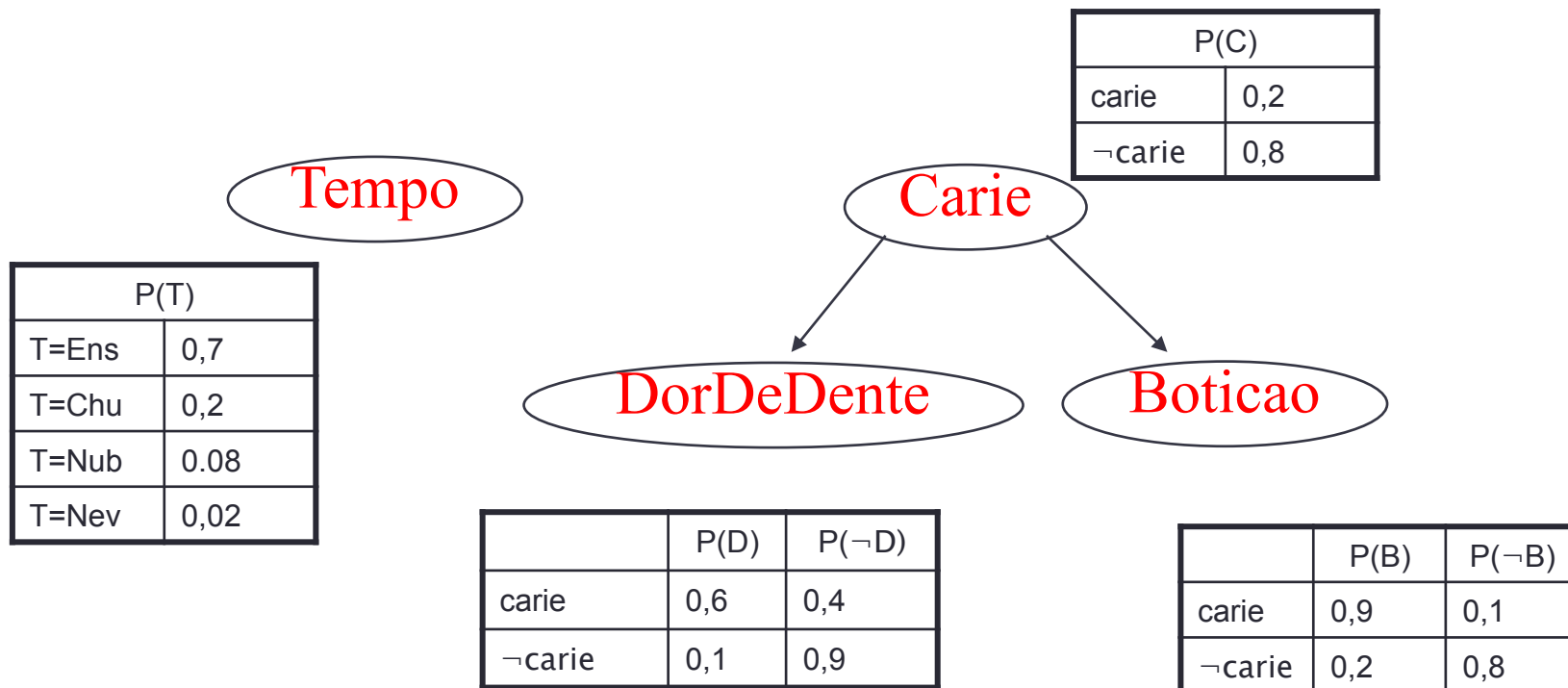
Redes Bayesianas - Exemplo

- Considere o mundo onde existem apenas as variáveis Tempo, DorDeDente, Boticao e Carie e determine a distribuição de probabilidade condicional para cada nó



Redes Bayesianas - Exemplo

- Considere o mundo onde existem apenas as variáveis Tempo, DorDeDente, Boticao e Carie e determine a distribuição de probabilidade condicional para cada nó



Redes Bayesianas - Exercício

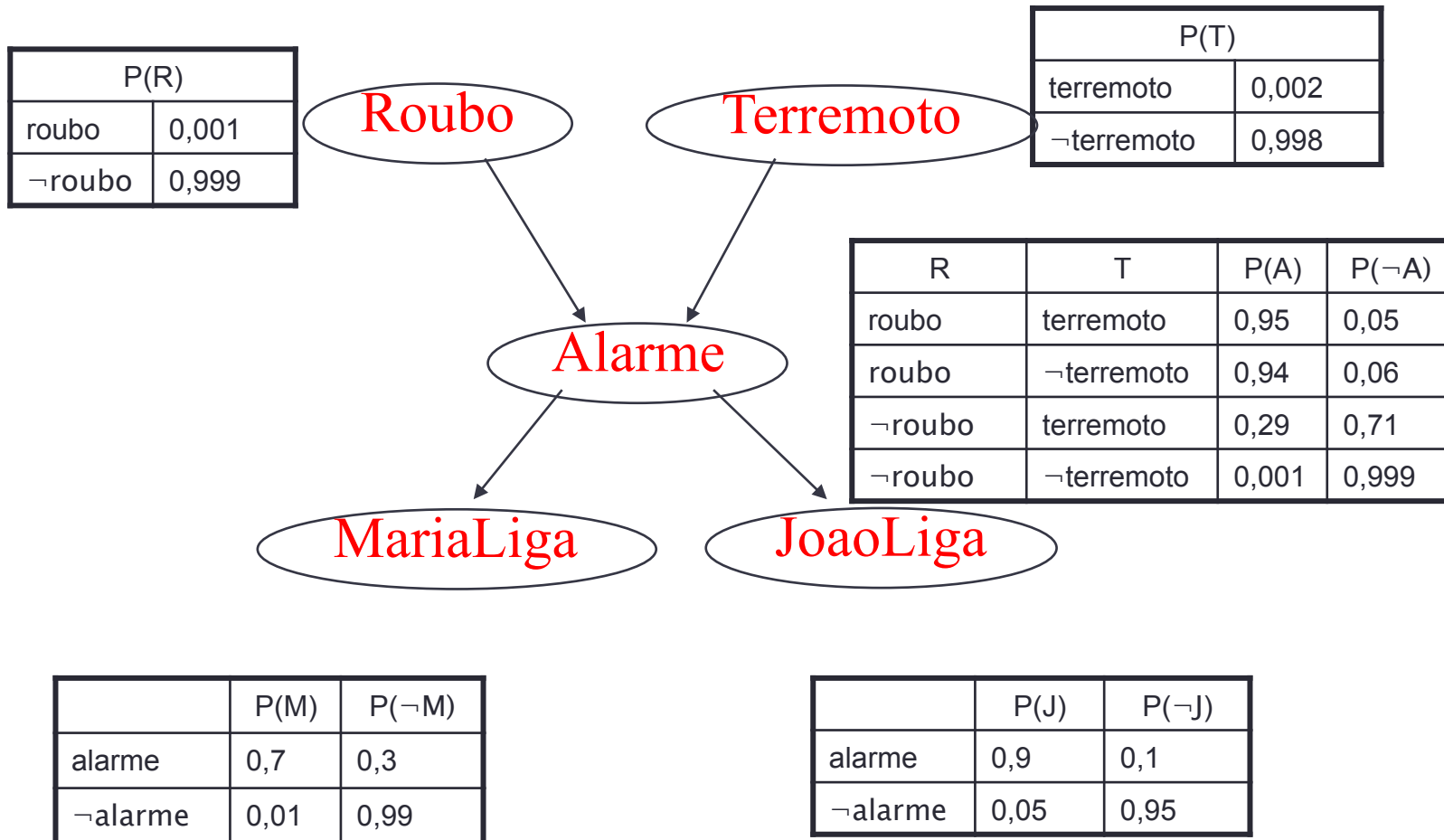
- Um novo alarme contra assaltantes foi instalado em sua casa. Ele é bastante confiável na detecção de um roubo, mas responde ocasionalmente a pequenos terremotos. Você tem dois vizinhos, João e Maria, que prometeram chamá-lo no trabalho quando ouvirem o alarme. João sempre chama quando ouve o alarme, mas, às vezes, confunde o alarme com o toque do telefone. Maria gosta de ouvir música e esquece de ouvir o alarme. Dada a evidência de quem telefonou ou não telefonou, gostaríamos de estimar a probabilidade de um roubo. (adaptado de Judea Pearl)
 - Construa a topologia da rede

Redes Bayesianas - Semântica

- Duas maneiras de entender o que significa uma Rede Bayesiana:
 1. Rede Bayesiana = uma forma de representar a distribuição de probabilidade conjunta (DPC)
 2. Rede Bayesiana = codificação de um conjunto de declarações de independência condicional
- Toda entrada na DPC pode ser calculada a partir das informações armazenadas na rede.
 - Uma entrada genérica na DPC é a probabilidade de uma conjunção de atribuições possíveis às variáveis do domínio, ou seja, é a probabilidade de um evento atômico possível.
 - $P(X_1=x_1, X_2=x_2, \dots, X_n=x_n) = \prod P(x_i | \text{pais}(X_i))$
 - Dizendo de outro modo, cada entrada é representada pelo produto dos elementos apropriados das tabelas de probabilidade condicionais representadas na Rede Bayesiana

Redes Bayesianas – Semântica

- Exemplo: Considere a rede bayesiana do exemplo do alarme contra roubo



Redes Bayesianas – Semântica

- Qual a probabilidade de que o alarme tenha soado, mas não tenha ocorrido nenhum roubo nem um terremoto, e que tanto João e Maria tenham ligado?
 - $P(j, m, a, \neg r, \neg t) = ?$

Exercícios

1. Resolva os seguintes exercícios do livro-texto, pags. 517 a 519:
 - 14.1
 - 14.2
 - 14.3
 - 14.4