

**PIP/CA - Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação
Mestrado em Computação Aplicada da UNISINOS**

2000/1 - 2o. Trimestre - AULA 03 / FSO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
&
SISTEMAS INTELIGENTES**

• **Professores Responsáveis:**

Parte I - Profa. Dr. Renata Vieira

Web: <http://www.inf.unisinos.br/~renata/iam.html>

Parte II - Prof. Dr. Fernando Osório

E-Mail: osorio@exatas.unisinos.br

Web: <http://www.inf.unisinos.br/~osorio/ia.html>

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

TEMAS DE ESTUDO: SISTEMAS INTELIGENTES

ES - Expert Systems

RBS - Rule-Based Systems

- Conceitos Básicos
- Aquisição de Conhecimentos
- Representação do Conhecimento
- Inferência:
 - *Forward Chaining*
 - *Backward Chaining*
 - *Rete Algorithm*
- Incerteza
 - *Certainty Factors (CF / Rule Confidence)*
 - *Fuzzy / Bayesian*
- Exemplos de ESS (Expert System Shells): ES e CLIPS
- Temas de Pesquisa relacionados aos Sistemas Especialistas

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

SISTEMAS ESPECIALISTAS: Conceitos Básicos

*** Expert Systems [Nikolopoulos, Cap. 1]**

- Sistemas especialistas usam conhecimento sobre um domínio específico para resolver problemas ligados a este domínio de aplicação.

Feigenbaum: “An intelligent computer program that uses knowledge and inference procedures to solve problems that are difficult enough to require significant human expertise for their solution. The knowledge of an expert system consists of facts and heuristics.”

- Componentes de um Sistema Especialista:

- Base de Conhecimentos
- Mecanismo de Inferência
- Módulo de Aquisição de Conhecimentos
- Módulo de Explicação das Respostas
- Interface com o Usuário

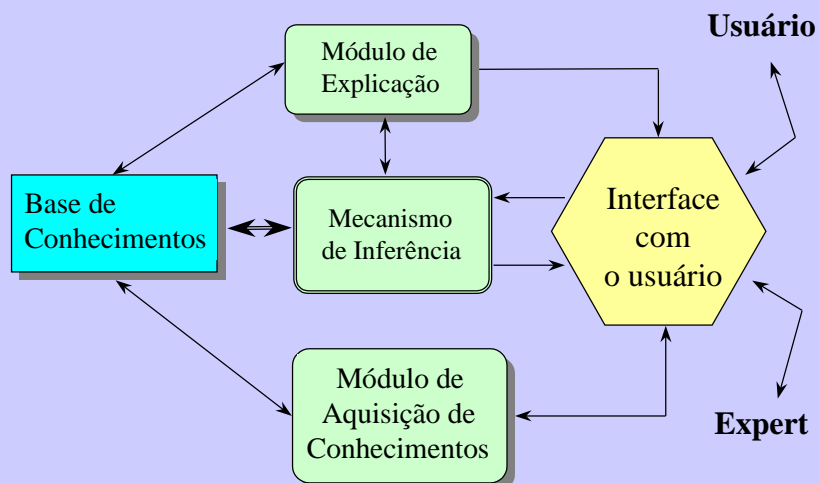
- Classificação dos Sistemas Especialistas:

- SE de Primeira Geração
- SE de Segunda Geração

- Sistemas Especialistas famosos: MYCIN, DENDRAL, PROSPECTOR

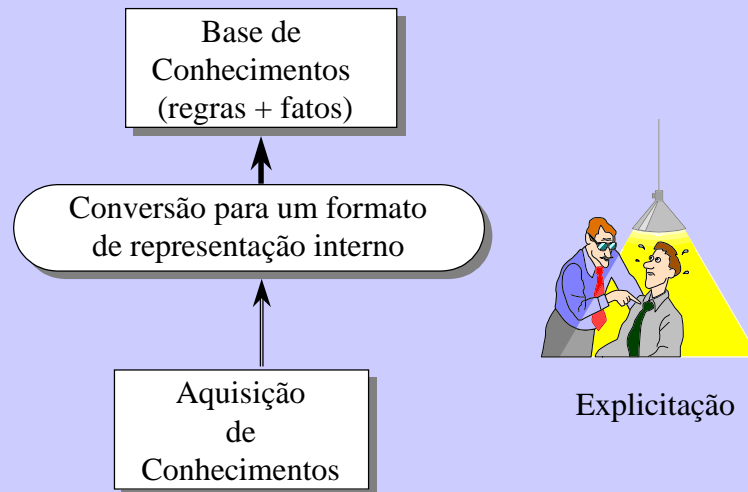
F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Componentes de um Sistema Especialista



F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Aquisição de Conhecimentos



* Problema: *Knowledge Acquisition Bottleneck / Symbolic x Sub-Symbolic*

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Representação de Conhecimentos

* Rule-Based Systems (RBS)

Sistemas Especialistas representam conhecimentos através Regras e Fatos

IF - THEN Rules - Sistema de dedução
FACTS - Verdades absolutas

Asserts - Suposições (statements) que não são necessariamente verdades absolutas

Exemplos de Conhecimentos:

- Regras:

IF Temperatura é alta THEN Pressão é Alta
IF Pressão é Alta AND Receptivo é Frágil THEN Risco de Explosão

IF Temperatura maior que 100 graus THEN Abrir a válvula #1

IF <assertion> is True THEN <new_assertion> => Rule-Based Deduction System
IF <assertion> is True THEN <add/delete, execute> => Rule-Based Reaction System

- Fatos:

Fact (Temperatura Alta) Fact (Rex come Carne)
Fact (Temperatura 120) Fact (Rex possui Rabo)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Representação de Conhecimentos

* Rule-Based Systems (RBS)

Sistemas Especialistas representam conhecimentos através Regras e Fatos

IF - THEN Rules - Sistema de dedução
FACTS - Verdades absolutas

Métodos de Raciocínio (Clássicos):

ANALOGIA: Estabelecer uma relação de semelhança de uma coisa com outra.
CBR Baseada na semelhança.

DEDUÇÃO: Conseqüência tirada de um raciocínio.
RBS Encadeamento de proposições conforme regras definidas, constituídas por axiomas e regras de inferência (Se isso Então aquilo).
Baseada em conclusões e inferências.

INDUÇÃO: Forma de raciocínio pela qual é possível, a partir de determinadas observações,
ML formular as leis gerais que balizam certos fatos singulares.

RACIOCÍNIO => Buscar a verdade com o auxílio da razão

Representação de Conhecimentos

* Rule-Based Systems (RBS)

Sistemas Especialistas representam conhecimentos através Regras e Fatos

IF - THEN Rules - Sistema de dedução
FACTS - Verdades absolutas

Métodos de Raciocínio (Clássicos):

ANALOGIA: Estabelecer uma relação de semelhança de uma coisa com outra.
CBR Baseada na semelhança.

DEDUÇÃO: Conseqüência tirada de um raciocínio.
RBS Encadeamento de proposições conforme regras definidas, constituídas por axiomas e regras de inferência (Se isso Então aquilo).
Baseada em conclusões e inferências.

INDUÇÃO: Forma de raciocínio pela qual é possível, a partir de determinadas observações,
ML formular as leis gerais que balizam certos fatos singulares.

RACIOCÍNIO => Buscar a verdade com o auxílio da razão

Outras Palavras-Chave:

- Common Sense
- Beliefs
- Default Reasoning
- Uncertainty
- Redes Semânticas/Frames

Representação de Conhecimentos

* Rule-Based Systems (RBS) - Regras de Produção

Sistemas Especialistas representam conhecimentos através Regras e Fatos

IF - THEN Rules - Sistema de dedução
FACTS - Verdades absolutas

Asserts - Suposições (statements) que não são necessariamente verdades absolutas

Exemplos de Conhecimentos:

- Regras:

IF Temperatura é alta THEN Pressão é Alta
IF Pressão é Alta AND Recepteinte é Fragil THEN Risco de Explosão

IF Temperatura maior que 100 graus THEN Abrir a válvula #1

IF <assertion> is True THEN <new_assertion> => Rule-Based Deduction System
IF <assertion> is True THEN <add/delete , execute> => Rule-Based Reaction System

- Fatos:

Fact (Temperatura Alta) Fact (Rex come Carne)
Fact (Temperatura 120) Fact (Rex possui Rabo)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Rule-Based Deduction Systems

Definição de uma regra:

Antecedente (LHS)
=>
Consequente (RHS)

IF Antecedente
THEN
Consequente

IF assertion
THEN
new_assertion

Ativação de uma regra:

- Se todos os antecedentes satisfazem, a regra é ativada (fired) e então os consequentes são considerados como suposições válidas (new assertions)
- Coleção de assertions => Working memory
- Seleção de assertions => Search algorithm - Conflict Resolution (qual regra ativar primeiro)
- Agenda => Coleção de regras que estão prontas para serem ativadas

Regras:

R1 IF ?x tem cabelo
THEN ?x é um mamífero
R2 IF ?x produz leite
THEN ?x é um mamífero
R3 IF ?x tem penas
THEN ?x é um pássaro

R4 IF ?x voa
?x põem ovos
THEN ?x é um pássaro
R5 IF ?x é um mamífero
?x come carne
THEN ?x é um carnívoro

Fatos:

(F1 Rex tem cabelo)
(F2 Rex come carne)
(F3 Louro tem penas)
(F4 Louro voa)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Mecanismo de Inferência

Forward Chaining: from Assertions
Backward Chaining: from Hypotheses
Otimizando.... Rete Algorithm

FORWARD CHAINING:

Rex tem cabelo (F1) => Rex é um mamífero (R1) => Rex é carnívoro
Rex come carne (F1)

Forward Inference Net

BACKWARD CHAINING:

Rex é carnívoro? <= (R5)
Rex come carne? (Perguntar) <= (R2)
Rex é um mamífero? <= (R1)
Rex produz leite ? (P: Sem resposta) (R1)
Rex tem cabelo? (Perguntar) <= Confirmado

QUESTÃO: Qual tipo de mecanismo de inferência utilizar?

- Depende do Fan In / Fan Out
- O problema pode determinar um tipo preferencial (iniciar: assertions/hypotheses ?)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Mecanismo de Inferência

RETE ALGORITHM

Regras:

IF A(X,1) and B(X,Z) THEN G1 (X,Z)
IF A(X,2) and B(X,Z) THEN G2(X,Z)

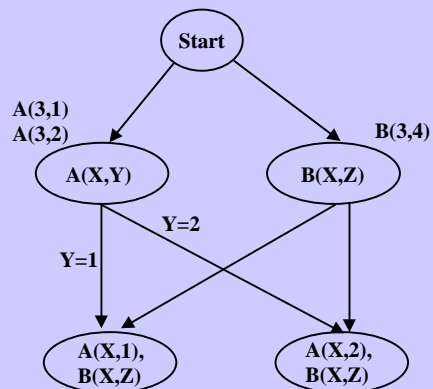
Fatos

A(3,1)
A(3,2)
B(3,4)

Working Memory:

Direciona asserções de acordo com o grafo. Evita busca exaustiva.

- Excesso de computação se tivermos que testar todos os possíveis "matches" das regras que constam na memória de trabalho.



F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Mecanismo de Inferência: Incerteza

Certainty Factors - CF

Rule Confidence

IF Pression is high AND Temperature is high AND Escape-Valve is closed
THEN there is high evidence (0.90) that Recipient will explode

Conceitos: *Confidence = Medida de Crença em algo*

- Para cada regra/fato associamos um valor que reflita a certeza (confiança) desta regra ou fato
- Os valores de CF ficam na faixa de -1 à +1, sendo -1 indica que algo é definitivamente falso e +1 indica que algo é certamente verdadeiro (com 100% de certeza). Zero significa dúvida.
- Apesar da “associação” imediata com o conceito de valor probabilístico associado as regras, o CF não é uma representação formal de probabilidade. Sendo assim ao afirmar que uma regra tem um CF=0.7 isso não significa de modo algum que a sua negação deverá ter CF = 0.3 (não existe a imposição de obter uma soma de CFs relativas a uma regra/asserção igual a 1.0)

Vantagens:

- Formalismo simples, fácil de entender, fácil de modelar, intuitivo

Fatos:

A [CF = 0.8]
C [CF = 0.9]
D [CF = 0.7]
E [CF = 0.5]

Regras:

R1 IF A
 THEN B with CF=1.0
R2 IF C and D and E
 THEN B with CF = 0.6

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Mecanismo de Inferência: Certainty Factor / CF

Conceitos:

h = Hipótese **P(h)** => Probabilidade da hipótese ‘h’ se verificar
e = Evidência **P(h/e)** => Probabilidade da hipótese ‘h’ se verificar dada a evidência ‘e’

$$CF(h, e) = \frac{MB(h/e) - MD(h/e)}{1 - \min[MB(h/e), MD(h/e)]} \quad CF \Rightarrow [-1 .. +1]$$

MB(h/e) = Medida de maior crença que ‘h’ é verdadeiro, dado que ‘e’ é verdadeiro (Measure of Belief)

MD(h/e) = Medida de maior descrença que ‘h’ é verdadeiro, dado que ‘e’ é verdadeiro (Disbelief)

$$MB(h/e) = \begin{cases} 1 & \text{se } P(h) = 1 \\ \{ \max[P(h/e), P(h)] - P(h) \} / [1 - P(h)] & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$MD(h/e) = \begin{cases} 1 & \text{se } P(h) = 0 \\ \{ P(h) - \min[P(h/e), P(h)] \} / P(h) & \text{caso contrário} \end{cases}$$

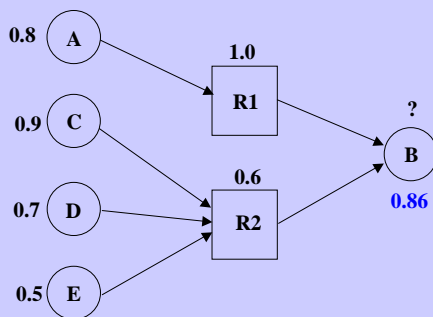
Sendo assim... Se a evidência ‘e’ suporta a hipótese ‘h’ então $P(h/e) > P(h)$, e então MB é positivo
Se $P(h/e) < P(h)$ então MD é positivo / Se $P(h/e) = P(h)$ então $MB=MD=0$!

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Mecanismo de Inferência: Certainty Factor / CF

Propagação de Incertezas:

Facts	Rules
A [CF = 0.8]	R1 IF A
C [CF = 0.9]	THEN B with CF=1.0
D [CF = 0.7]	R2 IF C and D and E
E [CF = 0.5]	THEN B with CF = 0.6



Via R1...

- Pegar o menor CF da esquerda da regra
- Multiplicar pelo CF da própria regra
- CF de B via R1 = $0.8 \times 1.0 = 0.8$

Via R2...

- Idem a R1
- CF de B via R2 = $0.5 \times 0.6 = 0.3$

Combinando R1 e R2 em B...

- Ambos CF de R1 e R2 são positivos
- CF final de B = $0.8 + 0.3 \times (1 - 0.8) = 0.86$
- $= 0.3 + 0.8 \times (1 - 0.3) = 0.86$

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Mecanismo de Inferência: Certainty Factor / CF

Propagação de Incertezas:

Facts	Rules
A [CF = 0.8]	R1 IF A
C [CF = 0.9]	THEN B with CF=1.0
D [CF = 0.7]	R2 IF C and D and E
E [CF = 0.5]	THEN B with CF = 0.6

* Combinando CFs: Calculando CFnew supondo que temos CF1 e CF2

1. Se CF1 e CF2 são ambos positivos => Aumenta o CF final

$$CF_{new} = CF1 + CF2 * (1 - CF1)$$

2. Se CF1 e CF2 são ambos negativos => Diminui ainda mais o CF final

$$CF_{new} = CF1 + CF2 * (1 + CF1)$$

3. Se CF1 e CF2 possuem sinais opostos => Um suporta e o outro vai contra...
Fica entre CF1 e CF2

$$CF_{new} = (CF1 + CF2) / (1 - \text{Min}(|CF1|, |CF2|))$$

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

MYCIN

- > What is the patient's name?
John Doe.
- > Male or Female?
Male.
- > Age?
He is 55.
- > Have you obtained positive cultures indicating general type?
Yes.
- > What type of infection is it?
Primary bacteremia.
- > When did symptoms first appear?
May 5.
- > Let's call the most recent positive culture C1. From what site was C1 taken?
From the blood.
- > When?
May 9.
- > Let's call the first significant organism from this culture U1. Do you know the identity of U1?
No.
- > Is U1 a rod or a coccus or something else?
Rod.
- > What is the gram stain of U1?
Gram-negative.
- > Have there been positive cultures from sites that are not associated with the infections about which you are seeking advice?
No.

> ...

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

MYCIN

Diagnosis...

- > My recommendations will be based on the opinion that the identity of U1 may be:
 1. Pseudomonas-aeruginosa
 2. Klebsiella-pneumoniae
 3. E. coli
 4. Bacteroides-fragilis
 5. Enterobacter
 6. Proteus-nommirabilis

Some more questions...

- > On a scale of 0 to 4, where higher numbers indicate greater severity, how would you rate the patient's degree of sickness?
3.
- > Does the patient have a clinically significant allergic reaction to any antimicrobial agent?
No.
- > How much does the patient weigh?
70 kg.

First recommendation...

- > My first recommendation is as follow: to cover for items 1,2,3,5 and 6, give gentamycin using a dose of 119 mg (1,7 mg/kg) q8h IV [or IM] for 10 days. Modify dose in renal failure. Also, to cover for item 4, give clindamycin using a dose of 595 mg (8.5 mg/kg) qh6 IV [or IM] for 14 days. If diarrhea or other gastrointestinal symptoms develop, check for pseudomembranous colitis.

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

MYCIN

Mycin - Buchanam & Shortliffe 76
Emycin - Expert System Shell

Typical Rule...

M88 **IF** ?x type is primary bacteremia
 the suspected entry point of ?x is the gastrointestinal tract
 the site of the culture of ?x is one of the sterile sites
 THEN there is evidence that ?x is bacteroides

Using Certainty Factors (CF)...

X111 **IF** the stain of the organism is grain positive
 the morphology of the organism is coccus
 the growth conformation of the organism is chains
 THEN there is suggestive evidence (0.70)
 that the identity of the organism is streptococcus

Inferência... Backward Chaining
Explicação... Trace of the inference steps

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

EXEMPLOS DE “EXPERT SYSTEM SHELLS”:

* SISTEMAS FAMOSOS / DISPONÍVEIS:

- Multilogic-ExSys / ExSys (Disponível até 01/08/2000)
<http://www.exsys.com/>
- NASA / CLIPS - C Language Integrated Production System (Disponível)
<http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/ai-repository/ai/areas/expert/systems/clips/0.html>
<http://web.ukonline.co.uk/julian.smart/wxclips/> (WxClips - Linux/Win)
http://ai.iit.nrc.ca/IR_public/fuzzy/fuzzyClips/fuzzyCLIPSIndex.html (FuzzyClips)
<http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/> (JESS - Java CLIPS)
<http://www.haley.com/> (Eclipse)
- MIT AI Repository - Expert Systems
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/ai-repository/ai/areas/expert/systems/0.html>
- Summers / ES (Disponível)
ES Software - Educacional - MIT AI Repository
- OPS5 (Disponível)
- Attar / XperRule (Disponível)
- LPA / Flex (Documentação)
- Huggin / Huggin (Disponível - HugginLite / Solaris)
- MDBS / Guru (Documentação)
- Cubicalc, MSBN, Netica, ... [Fuzzy, Bayes Net]

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

CLIPS - C Language for Integrated Production Systems

Rules... Similares ao que é usado em LISP e OPS5

```
IF the animal is a duck
THEN the sound made is quack
```

Em CLIPS fica assim:

```
( defrule duck-rule "Comentário: regra do pato"
  ( animal-is duck )
=>
  ( assert ( sound-is quack ) ) )
```

Facts... Descrição bastante flexível.

```
( assert ( The duck said "Quack." ) )
( assert ( animal-is duck ) )
( animal-is horse )
( deffacts animal
  ( animal-is snake )
  ( animal-is bird )
  ( animal-is snail ) )
```

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

CLIPS - C Language for Integrated Production Systems

Alguns comandos do CLIPS:

(facts) : Lista os fatos que estão definidos

(rules) : Lista as regras que estão definidas

(defrule ...) : Define uma regra

(deffacts ...) : Define fatos

(assert ...) : Cria um fato

(retract ...) : Destroi um fato

(ppdefrule <rule-name>) : Exibe a regra completa

(ppdeffacts <fact-n>) : Exibe um fato

(printout t "Mensagem" crlf) : Exibe uma mensagem na tela

(run) : Executa o programa carregado na memória

(reset) : Apaga fatos, limpa agenda. Cria os fatos especificados em deffacts

(clear) : Limpa todos os fatos e regras

(agenda) : Mostra a agenda

(watch) : Permite controlar a execução - asserts, retracts, fire, agenda, etc.

(exit) : Sai do CLIPS

(set-strategy depth) / (set-strategy breadth) : Define a estratégia de seleção da agenda

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

CLIPS - C Language for Integrated Production Systems

Alguns exemplos em CLIPS:

```
(defrule addition
  (numbers ?x ?y)
=>
  (assert (answer =(+ ?x ?y) ) )
  (bind ?answer (+ ?x ?y) )
  (printout t "Answer is " ?answer crlf ) )
```

```
> (assert (numbers 2 2) )
> (assert (numbers 3 4) )
> (run)
```

```
(defrule read-value
  (initial-fact )
=>
  (printout t "Value: " crlf )
  (assert (value =(read) ) ) )
```

```
> (reset)
> (run)
> (facts)
```

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

Considerações sobre os Sistemas Especialistas

- Sistema Especialista de Primeira Geração: Aquisição por explicação / Modelo único
- Sistema Especialista de Segunda Geração: Aquisição automatizada / Modelos múltiplos
Explicação / Validação / Integração Conhec.

Considerações: [Winston]

“When you have finished this chapter, you will understand the key ideas that support many of the useful applications of Artificial Intelligence. Such applications are often mislabeled expert systems, even though their problem-solving behavior seems more like that of human novices, rather than of human experts.” ?!?

Considerações: [Nikolopoulos]

“Advantages of expert system technology include the ability to solve, with high degree of reliability, intractable, complex problems, for which algorithmic, polynomial time solutions are not available. One of the driving needs for expert system development is to capture critical and scarce expertise and distribute it, throughout the organization”

“Expert Systems as a modeling activity are nonalgorithmic in nature. As a result, they cannot be proven correct. There may be unforeseen circumstances by the designers in which the model will fail.”

Considerações: [Osório] Hum ... Hum ... Knowledge

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

TEMAS DE PESQUISA SOBRE SISTEMAS ESPECIALISTAS:

*** PAPERS / DOCUMENTAÇÃO:**

- **FAQ:** <http://www.cs.cmu.edu/Web/Groups/AI/html/faqs/ai/expert/part1/faq.html>
- **PC AI:** http://www.pcai.com/pcai/New_Home_Page/ai_info/expert_systems.html
- **Mahoney / Mooney - Theory and Knowledge Refinement**
<http://www.cs.utexas.edu/users/ml/theory-rev.html>

*** Conferências:**

- <http://www.aaai.org/> - American Association for Artificial Intelligence
- <http://www.aiai.ed.ac.uk/> - Artificial Intelligence Applications Institute
- <http://sigart.acm.org/> - ACM Special Interest Group on Artificial Intelligence
- <http://www.eccai.org/> - ECCAI, the European Coordinating Committee for AI
- <http://www.auai.org/> - Association for Uncertainty in Artificial Intelligence

*** Temas Importantes:**

- **Incerteza**
- **Aquisição de Conhecimentos**
- **Representação de Conhecimentos**
- **Validação de Conhecimentos**
- **Meta-Conhecimentos**