

Inteligência Artificial

Aula 16- Agentes e Representação de Conhecimento¹

Sílvia M.W. Moraes

Faculdade de Informática - PUCRS

May 15, 2018

¹Este material não pode ser reproduzido ou utilizado de forma parcial sem a permissão dos autores.

Sinopse

- Nesta aula, introduzimos em **representação de conhecimento: lógica fuzzy**
- Este material foi construído com base nos livros de Russel & Norvig e Luger & Stubblefield.

Sumário

- 1 Introdução à Lógica Fuzzy
- 2 Variáveis Linguísticas
- 3 Conjunto Fuzzy
- 4 Sistema Fuzzy

Relembrando...

- Agentes Reativos
- Agentes Deliberativos (Cognitivos)
 - Algoritmos de Busca
 - Planejamento
 - Representação do Conhecimento
 - Regras de produção

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Em aulas anteriores, vimos como uma forma de representar conhecimento:
 - **Regras de produção** as quais utilizam **raciocínio monotônico**.
R1: SE <antecedente ou premissas> ENTÃO <conclusão>
R2: SE <antecedente ou premissas> ENTÃO <conclusão>
...
Rn: SE <antecedente ou premissas> ENTÃO <conclusão>

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Nesta aula, veremos: **Lógica Fuzzy** que utiliza **raciocínio não monotônico**.
 - permite expressar conhecimento impreciso, vago e experimental.
 - permitem o raciocínio com informações parciais
 - em qualquer momento, uma proposição pode ser considerada verdadeira, falsa ou nem verdadeira ou falsa.



Os copos estão cheios?

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Algumas aplicações da Lógica Fuzzy:
 - Foco e controle da íris automáticos de uma câmera de vídeo
 - Ajuste de intensidade (calor) e duração de cozimento para fornos de microondas
 - Controle da temperatura da água, concentração de sabão, peso de roupas, nível da água, tipo de tecido, tipo de sujeira e grau de sujeira em máquinas de lavar.
 - Controle de acoplamentos mecanismos em locomotivas.
 - Ajuste de válvulas de água fria, água quente e água para controle da umidade em ar condicionado.

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Algumas aplicações da Lógica Fuzzy:
 - Otimização de sistemas de freio (reduz adequadamente a força de frenagem e evita escorregamento)
 - Controle da transmissão automática em carros (visa rendimento máximo do combustível, evita mudanças de marchas desnecessárias).
 - Estacionamento automático de carros
 - Otimização da produção de celulose (melhora firmeza, reduz a perda de madeira e de água)
 - Controle e otimização de geração de energia elétrica renovável (controle de torque, velocidade, tensão, corrente, ...)
 -

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy



- A lógica fuzzy (difusa ou nebulosa) é uma extensão da lógica binária.
- Criada em 1965 por Lotfi Zadeh, estendida em 1972 por Michio Sugeno.
- Esta lógica permite expressar noções de vagueza e imprecisão.

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Zadeh reconheceu os limites da precisão na área de controle de sistemas, lançando o ...

Princípio da incompatibilidade

“Conforme a complexidade de um sistema aumenta, a nossa habilidade de fazer afirmações precisas e significativas sobre o seu comportamento diminui, até atingir um limiar além do qual, precisão e significado se tornam características mutuamente exclusivas”

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Considere as afirmações abaixo:
 - 1 A água está **muito fria**.
 - 2 Maria é **jovem**.
 - 3 Antônio é **bem mais alto** que André.
 - 4 A casa é **grande**.
- Qual o significado dessas afirmações ?

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Considere as afirmações abaixo:
 - 1 A água está **muito fria**.
 - 2 Maria é **jovem**.
 - 3 Antônio é **bem mais alto** que André.
 - 4 A casa é **grande**.
- Qual o significado dessas afirmações ?
 - O significado depende da pessoa que está fazendo o julgamento.

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Em Lógica Fuzzy, as expressões são definidas a partir de **variáveis linguísticas**.
 - Que **variáveis** podemos usar para as expressões usadas nas afirmações abaixo ?
 - 1 A água está **muito fria**.
 - 2 Maria é **jovem**.
 - 3 Antônio é **bem mais alto** que André.
 - 4 A casa é **grande**.

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Em Lógica Fuzzy, as expressões são definidas a partir de **variáveis linguísticas**.
 - Que **variáveis** podemos usar para as expressões usadas nas afirmações abaixo ?
 - ① A água está **muito fria**. <variável **temperatura**>
 - ② Maria é **jovem**. <variável **idade**>
 - ③ Antônio é **bem mais alto** que André. <variável **altura**>
 - ④ A casa é **grande**. <variável **tamanho**>

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Em Lógica Fuzzy, cada **variáveis linguísticas** tem um conjunto **de valores linguísticos**.

| variável | valores |
|-------------|--------------------------------|
| temperatura | fria, morna, quente |
| idade | criança, jovem, adulto |
| altura | baixo, médio, alto |
| tamanho | pequeno, médio, grande, enorme |

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Na lógica tradicional, utilizaríamos predicados para descrever tais valores linguísticos: $fria(X)$, $jovem(Y)$, $alto(Z)$.
 - $fria(X)$: A temperatura X da água é fria ?
 - true (1) ? ou false (0) ?
 - $jovem(Y)$: Se a idade é Y , a pessoa é jovem ?
 - true (1) ? ou false (0) ?
 - $alto(Z)$: Se a altura é Z , a pessoa é alta ?
 - true (1) ? ou false (0) ?

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

Conjunto crisp × Conjunto fuzzy



- A lógica fuzzy estende essa noção de predicado, atribuindo-lhe um **grau de pertinência**.
 - O **grau de pertinência** expressa, por exemplo, o quanto a temperatura água pertence ao conjunto difuso fria, o quanto alguém é jovem (pertence a esse conjunto), etc.
 - Ao invés de pertencer ou não a um conjunto, é possível
 - pertencer parcialmente a um conjunto e
 - em alguns momentos pertencer a mais de um conjunto.
 - Cada **valor linguístico está associado a um conjunto**, ao qual chamamos de **conjunto fuzzy**.

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

Exemplo 1:

- variável: **temperaturaDoAmbiente**
- valor: **fria**
 - $fria(15)=0.5$

| conjuntos difusos | grau de pertinência |
|----------------------|---------------------|
| $\{-10,-9,..0,1\}$ | 1 |
| $\{2,3,4,5\}$ | 0.9 |
| $\{6,7,8,9,10\}$ | 0.7 |
| $\{11,12,13,14,15\}$ | 0.5 |
| $\{16,17,18,19,20\}$ | 0.3 |
| $\{21,22,23,24\}$ | 0.1 |
| $\{25,26,27,..50\}$ | 0 |

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Exemplo 2:** Em processo de decisão, deve-se considerar a imprecisão dos dispositivos de leitura. A lógica fuzzy pode-se ser útil nesses casos.
 - variável: **motorista**
 - valor: **infrator** (aquele que dirige acima da velocidade máxima permitida, no caso 80km/h)
 - infrator(85)=?

| conjuntos difusos | grau de pertinência |
|-------------------|---------------------|
| [88.0;200] | 1 |
| [86.5; 88.0) | 0.8 |
| [84.0; 86.5) | 0.6 |
| [82.0; 84.0) | 0.4 |
| [80.0; 82.0) | 0.2 |
| [78.0; 80.0) | 0.1 |
| [0; 78.0) | 0 |

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- É comum o uso de escalas de pertinência:

| conjuntos difusos | grau de pertinência |
|----------------------|---------------------|
| Membro | 1 |
| Quase Membro | 0.8 |
| Mais ou Menos Membro | 0.6 |
| Não muito Membro | 0.4 |
| Pouquissimo Membro | 0.2 |
| Não Membro | 0 |

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- É comum o uso de escalas de pertinência:



- Exemplo: Intensidade da chuva

| conjuntos difusos | grau de pertinência |
|----------------------|---------------------|
| Tempestade | 1 |
| Chuva Forte | 0.8 |
| Chuvas Intermitentes | 0.6 |
| Garoa | 0.4 |
| Garoa Fina | 0.2 |
| Sem Chuva | 0 |

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- É comum o uso de escalas de pertinência:

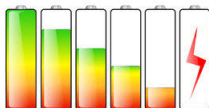


- Exemplo: altura

| conjuntos difusos | grau de pertinência |
|-------------------|---------------------|
| Muito Alto | 1 |
| Alto | 0.8 |
| Médio | 0.6 |
| Baixo | 0.4 |
| Muito Baixo | 0.2 |
| Sem Altura | 0 |

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- É comum o uso de escalas de pertinência:

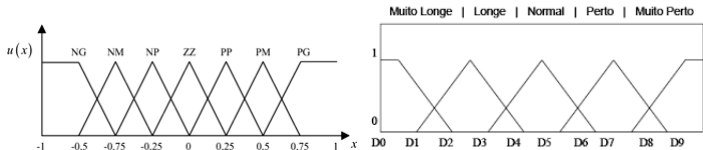


- Exemplo: bateria

| conjuntos difusos | grau de pertinência |
|-------------------|---------------------|
| Cheia | 1 |
| Quase Cheia | 0.8 |
| Metade | 0.6 |
| Baixo da Metade | 0.4 |
| Minimo | 0.2 |
| Sem Bateria | 0 |

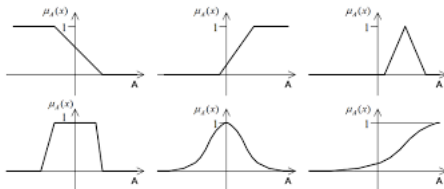
Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Escalas de pertinência: qual o número de conjuntos ideal ?
 - Variam de 2 a 7.
 - Quanto maior o número de conjuntos, maior a precisão e também o custo computacional.
 - Mudança de 5 para 7 conjuntos, pode aumentar em 15% a precisão
 - Para valores maiores não há melhorias significativas



Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

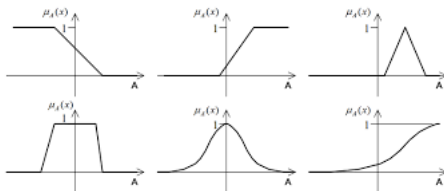
- Ao invés de representar explicitamente os conjuntos, usamos **funções de pertinência**.



- $\mu_i(x)$: indica a pertinência relativa de x ao conjunto i .
 - $\mu_{fria}(15) = 0.5$
 - $\mu_{jovem}(15) = 1$
 - $\mu_{alto}(1.65) = 0.7$
 - $\mu_{infrator}(85) = 0.6$

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Ao invés de representar explicitamente os conjuntos, usamos **funções de pertinência**.



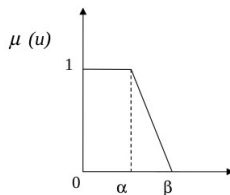
- Funções podem ser triângulos, trapezóides, gaussianas, sigmóide, ... (as últimas quando suavidade é importante)
- O grau de sobreposição afeta a precisão:
 - Mínimo: 25%
 - Máximo: 75%

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Função decrescente: usada em início de domínio.

- $L : U \rightarrow [0; 1]$

$$L(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 & \text{se } u < \alpha \\ (\beta - u) / (\beta - \alpha) & \text{se } \alpha \leq u \leq \beta \\ 0 & \text{se } u > \beta \end{cases}$$



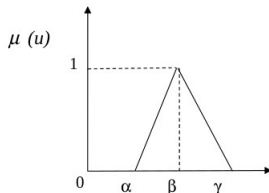
Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Função intermediária Λ (lambda ou triangular)

- $\Lambda : U \rightarrow [0; 1]$

$$\Lambda(u; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \text{se } u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \text{se } \alpha \leq u \leq \beta \\ (\gamma - u) / (\gamma - \beta) & \text{se } \beta < u \leq \gamma \\ 0 & \text{se } u > \gamma \end{cases}$$

↑

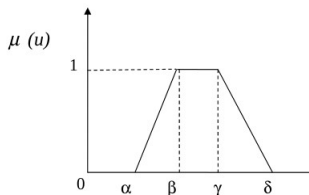


Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Função intermediária Π (trapézio)

- $\Pi : U \rightarrow [0; 1]$

$$\Pi(u; \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \begin{cases} 0 & \text{se } u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \text{se } \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & \text{se } \beta < u \leq \gamma \\ (\delta - u) / (\delta - \gamma) & \text{se } \gamma < u \leq \delta \\ 0 & \text{se } u > \delta \end{cases}$$

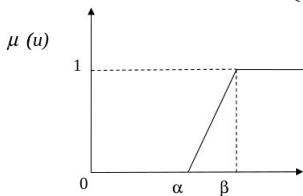


Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Função crescente Γ (gama): usada em final de domínio

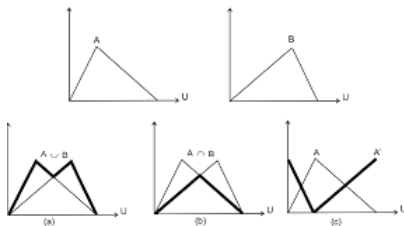
- $\Gamma : U \rightarrow [0; 1]$

$$\Gamma(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 0 & \text{se } u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \text{se } \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & \text{se } u > \beta \end{cases}$$



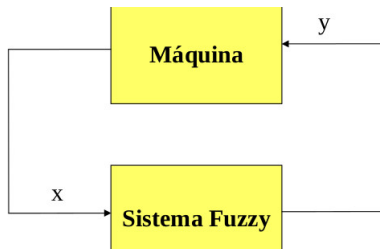
Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Operações com conjuntos fuzzy:
 - união $A \cup B$, interseção $A \cap B$ e complemento \bar{A} .

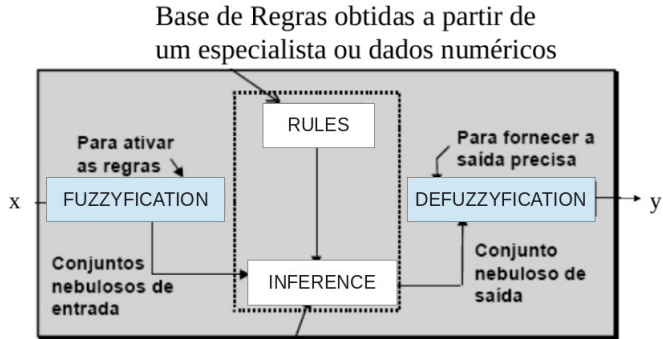


Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Aplicação de um sistema Fuzzy
 - Exemplo: ar condicionado
 - x pode ser a temperatura ambiente e
 - y , o valor corresponde à regulação do ar.



Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy



Determina como as regras
são ativadas e combinadas

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Exemplo** - Considere a seguinte base de regras:
 - R1 : Se financiamento é adequado OU
recursosHumanos é pequeno
Então risco é pequeno
 - R2 : Se financiamento é reduzido E
recursosHumanos é grande
Então risco é normal
 - R3 : Se financiamento é inadequado
Então risco é alto

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Exemplo (continuação)

- Variáveis linguísticas: financiamento, recursosHumanos e risco
- financiamento:

- $\mu_{inadequado}(f) = L(f; 25, 40)$
- $\mu_{reduzido}(f) = \Lambda(f; 30, 55, 80)$
- $\mu_{adequado}(f) = \Gamma(f; 65, 85)$

- recursosHumanos:

- $\mu_{pequeno}(rh) = L(rh; 15, 65)$
- $\mu_{grande}(rh) = \Gamma(rh; 25, 75)$

- risco:

- $\mu_{pequeno}(r) = L(r; 25, 40)$
- $\mu_{normal}(r) = \Pi(r; 25, 45, 55, 75)$
- $\mu_{alto}(r) = \Gamma(r; 60, 75)$

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Exemplo (continuação):**
- **Fuzzyfication:** transformação de um valor preciso (crisp) em um valor difuso.
 - Calcula-se o grau de pertinência dos valores de entrada para os conjuntos difusos (valores linguisticos).
 - É feita para as premissas das regras.
 - Exemplo: Para: $f = 70$ e $rh = 30$
 - $\mu_{inadequado}(70) = ?$
 - $\mu_{reduzido}(70) = ?$
 - $\mu_{adequado}(70) = ?$
 - $\mu_{pequeno}(30) = ?$
 - $\mu_{grande}(30) = ?$

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Exemplo (continuação):**
- **Fuzzyfication:** transformação de um valor preciso (crisp) em um valor difuso.
 - Calcula-se o grau de pertinência dos valores de entrada para os conjuntos difusos (valores linguisticos).
 - É feita para as premissas das regras.
 - Exemplo: Para: $f = 70$ e $rh = 30$
 - $\mu_{inadequado}(70) = 0$
 - $\mu_{reduzido}(70) = 10/25 = 0,4$
 - $\mu_{adequado}(70) = 5/20 = 0,25$
 - $\mu_{pequeno}(30) = 35/50 = 0,7$
 - $\mu_{grande}(30) = 5/50 = 0,1$

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Inferência Fuzzy** : usa basicamente raciocínio dedutivo sobre regras (modus ponens: $A, A \rightarrow B \vdash B$).
 - A partir das premissas, conclusões são deduzidas.
SE <premissas> **ENTÃO** <conclusão>
SE <antecedente> **ENTÃO** <consequente>
 - Dois elementos fundamentais:
 - AGREGAÇÃO: combina os valores difusos das premissas e define o grau de importância da regra (ativação).
 - COMPOSIÇÃO: calcula a influência de cada antecedente de regra no seu consequente (variável de saída) .

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Inferência Fuzzy** (Segundo Mamdani) : responsável por determinar a força de disparo e ativação das regras.
 - Como na lógica tradicional, os operadores lógicos (AND, OR e NOT) são usados para combinar fatos (premissas).
 - Cada operador tem uma regra que define o grau de verdade resultante da combinação de suas entradas.
 - A **AND** B : $\min(\mu_A, \mu_B)$
 - A **OR** B : $\max(\mu_A, \mu_B)$
 - **NOT** A : $1 - \mu_A$

Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Voltando ao Exemplo:**
- R1 : Se financiamento é adequado OU recursosHumanos é pequeno
 - $\max(\mu_{adequado}(70), \mu_{pequeno}(30)) = \max(0.25, 0.7) = 0.7$
- R2 : Se financiamento é reduzido E recursosHumanos é grande
 - $\min(\mu_{reduzido}(70), \mu_{grande}(30)) = \min(0.4, 0.1) = 0.1$
- R3 : Se financiamento é inadequado
 - $\mu_{inadequado}(70) = 0$

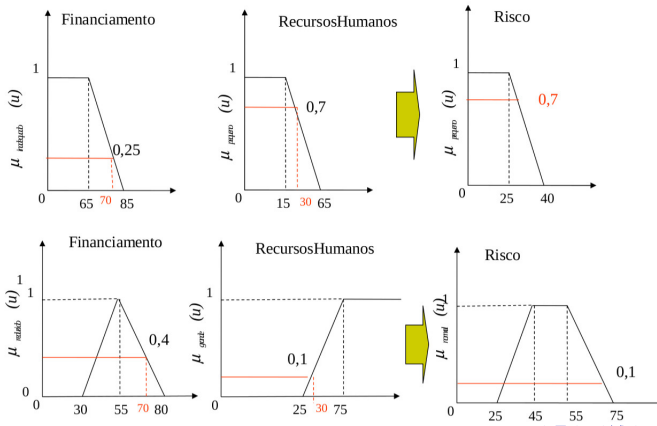
Ativação

Somente as regras **R1 e R2 foram ativadas.**

R1 foi ativada com força 0,7 e R2 com 0,1.

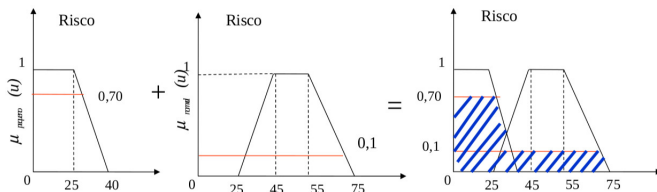
Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- Inferência Fuzzy** (Segundo Mamdani) resultante das regras R1 e R2, respectivamente:



Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Inferência Fuzzy** (Segundo Mamdani): O resultado final da inferência é agregação das áreas das regras ativadas.



Representação do conhecimento: Lógica Fuzzy

- **Defuzzyfication:** Transformação o resultado (área) da inferência em um valor preciso (crisp) novamente.
 - Alguns métodos usados: baseados no centróide (divide a área em duas partes iguais) ou nos valores máximos gerados pelas funções de pertinência.
 - Centro de Área (ou de Gravidade): $v = \frac{\sum \mu_i(z) \times z}{\sum \mu_i(z)}$,
onde z = conjunto de valores de entrada, μ_i modificada (o valor máximo é o resultante da inferência).
 - Média do Máximo: $v = \frac{\sum \mu_m}{M}$,
onde $\mu_m = \text{valor}_{\text{maximo}}$, $m = 1$ a M , M = total de máximos

