



Inteligência Artificial Aplicada



| Categoria | Descrição | Algoritmos/técnicas | Exemplos de aplicação |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| Métodos de busca | Encontram soluções em um espaço de estados. | BFS, A* | GPS traçando a melhor rota. |
| Raciocínio temporal | Modelam eventos ao longo do tempo. | Cadeias de Markov, Redes Bayesianas | Previsão do tempo, reconhecimento de fala. |
| Lógica fuzzy | Lida com incertezas e valores intermediários. | Conjuntos fuzzy, Inferência fuzzy | Controle de temperatura em ar-condicionado. |
| Representação do conhecimento | Estrutura e organiza informações para tomada de decisão. | C4.5, Árvores de decisão | Diagnóstico médico, sistemas especialistas. |
| Modelos de aprendizado | Ajustam pesos para identificar padrões em dados. | Redes Neurais (Perceptron, MLP) | Reconhecimento facial, chatbots. |



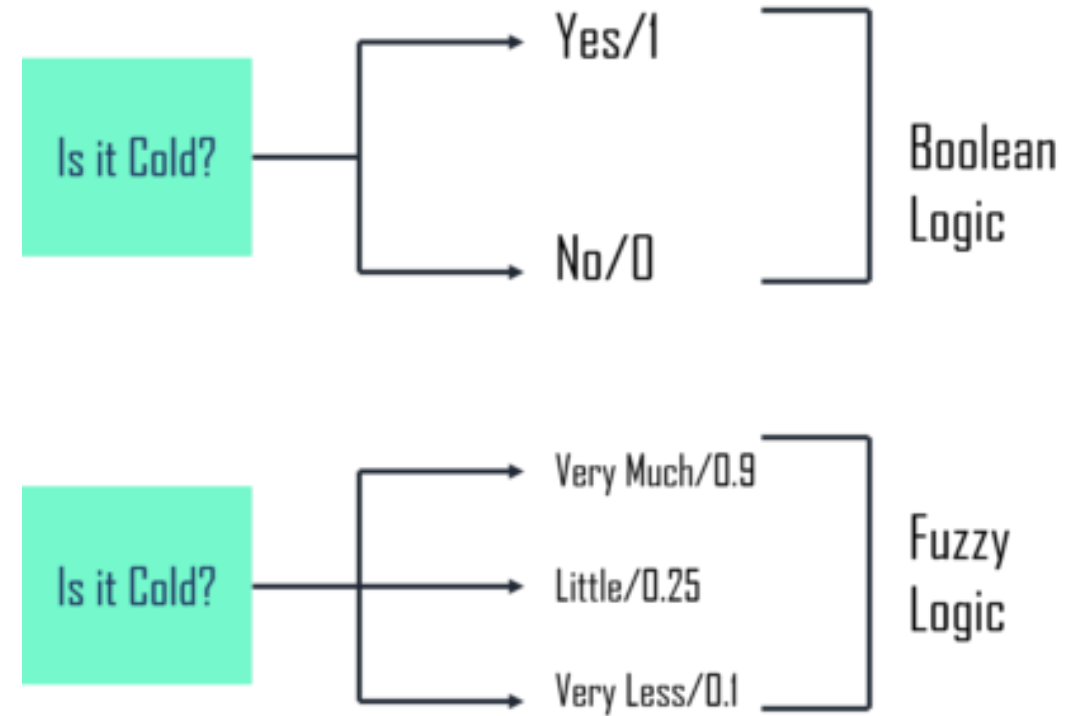
Lógica Fuzzy





Alternativa à lógica binária que só admite a existência de verdadeiro e falso, não admitindo qualquer tipo de imprecisão entre estes dois extremos.

Lógica fuzzy



- **Ideia principal:** Lógica que permite valores intermediários entre verdadeiro (1) e falso (0).
- **Funcionamento:** trabalha com regras e graus de pertinência.

Lógica fuzzy vs. lógica “clássica”

| Situação | Lógica clássica | Lógica Fuzzy |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Está quente? (30°C) | Sim (1) ou não (0) | 0,8 quente; 0,2 morno |
| É adulto? (17 anos) | Sim (1) ou não (0) | 0,9 adulto; 0,1 adolescente |
| Representação | | |
| Lógica clássica | Verdadeiro ou falso | 1 ou 0 |
| Lógica fuzzy | Grau de verdade/pertinência | $\in [0, 1]$ |

Elementos fundamentais

1. **Variável linguística:** temperatura, velocidade, etc.
2. **Conjuntos fuzzy:** frio, quente, morno, etc.
3. **Função de pertinência:** definem o grau em que um valor pertence a um conjunto fuzzy.
4. **Fuzzificação:** converter valor real em um grau fuzzy.
5. **Inferência fuzzy:** aplicar regras do tipo "Se... então...".
6. **Defuzzificação:** converter saída fuzzy em valor real.



Conjuntos fuzzy



DEFINIÇÃO

Generalização dos conjuntos clássicos, em cada elemento pertence parcialmente ao conjunto, com um grau de pertinência entre 0 e 1.

Ex: 25°C é meio quente (pertinência de 0,6).

| Temperatura | Lógica clássica: quente? | Lógica Fuzzy: grau de “quente” |
|-------------|--------------------------|--------------------------------|
| 20°C | Não (0) | 0,0 |
| 25°C | Não (0) | 0,4 |
| 30°C | Sim (1) | 0,9 |
| 35°C | Sim (1) | 1,0 |

Nota: o valor pode pertencer parcialmente a vários conjuntos fuzzy ao mesmo tempo.

Um **conjunto fuzzy** A pode ser definido como:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Onde:

x : valor real qualquer (Ex: 25°C; 1,70m)

X : universo de discurso (Ex: 0°C a 50°C)

$\mu_A(x)$: grau de pertinência de x ao conjunto A

$(x, \mu_A(x))$: par valor-grau de pertinência

Suponha $X = \{20, 25, 30, 35, 40\}$

A função de pertinência $\mu_A(x)$ pode ser:

| $x(^{\circ}\text{C})$ | Lógica clássica: quente? | Lógica Fuzzy: grau de “quente” |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 20 | Não (0) | 0,0 |
| 25 | Não (0) | 0,3 |
| 30 | Sim (1) | 0,6 |
| 35 | Sim (1) | 0,9 |
| 40 | Sim (1) | 1,0 |

Então, o conjunto fuzzy seria:

$$X = \{(20, 0,0), (25, 0,3), (30,0,6), (35, 0,9), (40,1,0)\}$$

Funções de pertinência

É uma função que **atribui a cada elemento x do universo de discurso X um valor entre 0 e 1:**

$$\mu_A(x) \in [0,1]$$

Onde:

$\mu_A(x) = 0$: *x não pertence ao conjunto;*

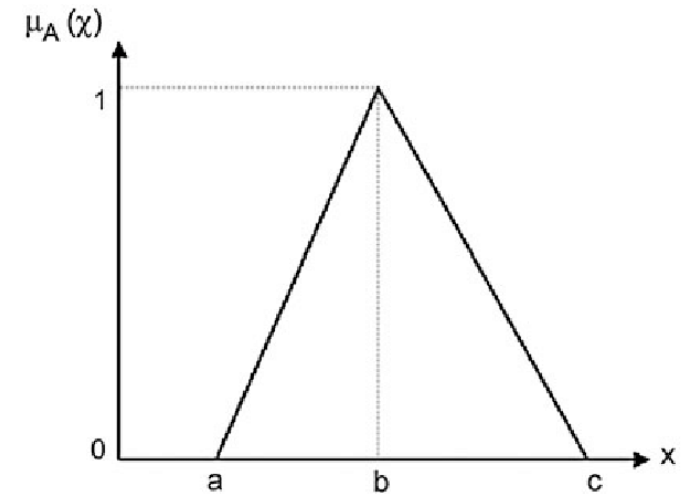
$\mu_A(x) = 1$: *x pertence totalmente;*

$0 < \mu_A(x) < 1$: *x pertence parcialmente*

Funções de pertinência (Triangular)

Definida por três pontos: a, b, c (com $a < b < c$):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \text{ ou } x \geq c \\ \frac{x - a}{b - a} & \text{se } a < x < b \\ \frac{c - x}{c - b} & \text{se } b \leq x < c \end{cases}$$



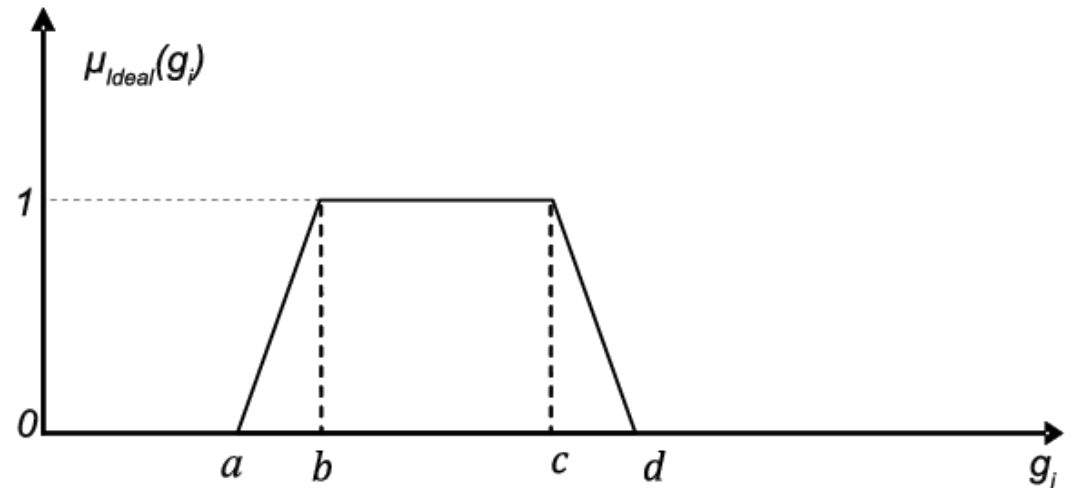
Temperatura média com $a=15$, $b=25$, $c=35$.

Funções de pertinência (Trapezoidal)

Semelhante à triangular, mas com um platô.

Quatro pontos: a, b, c, d :

$$\mu(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{se } x \leq a \text{ ou } x \geq d \\ \frac{x - a}{b - a} & \text{se } a < x < b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d - x}{d - c} & \text{se } c < x < d \end{array} \right.$$



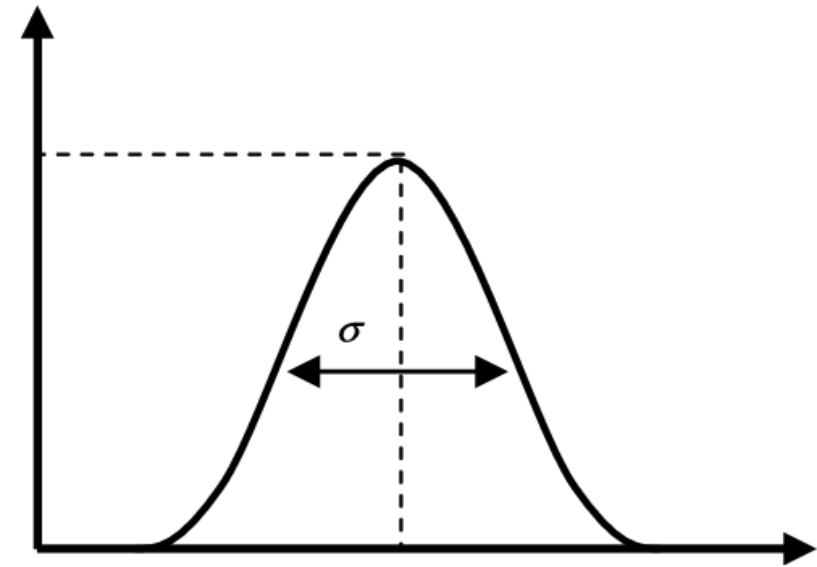
Temperatura confortável entre 20°C e 30 °C, com platô de 23 °C a 27 °C.

Funções de pertinência (Gaussiana)

Suave e contínua;

Parâmetros: centro (c) e desvio padrão (σ)

$$\mu(x) = \left\{ e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \right\}$$



Funções de pertinência (Sigmoides)

Transições suaves entre 0 e 1.

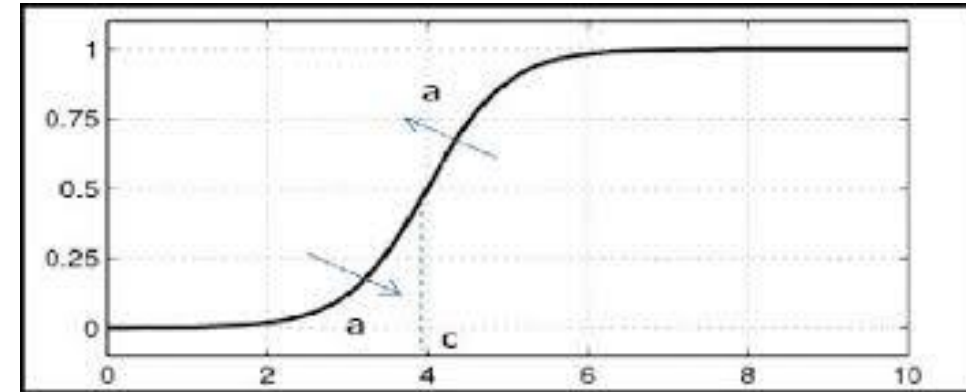
Ela tem a forma de um "S" suave e é ideal para modelar conceitos como "grande", "velho", "rápido", etc., onde não há um limite exato.

$$\mu(x) = \left\{ \frac{1}{1 + e^{(-a(x-c))}} \right\}$$

x : valor de entrada

a : parâmetro que controla a inclinação

c : ponto central da transição



Fuzzificação

DEFINIÇÃO

Primeira etapa de um sistema fuzzy.

Responsável por transformar valores precisos (*crisp*) em valores fuzzy.

| Conjunto | a | b | c |
|-----------|----|----|----|
| Frio | 0 | 15 | 25 |
| Agradável | 15 | 25 | 35 |
| Quente | 25 | 35 | 45 |

Agora, para 28°C, usando uma função de pertinência triangular:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \text{ ou } x \geq c \\ \frac{x - a}{b - a} & \text{se } a < x < b \\ \frac{c - x}{c - b} & \text{se } b \leq x < c \end{cases}$$

Frio: $\mu(28) = 0$ (fora do intervalo)

$$\text{Agradável: } \mu(28) = \frac{35 - 28}{35 - 25} = \frac{7}{10} = 0,7$$

$$\text{Quente: } \mu(28) = \frac{28 - 25}{35 - 25} = \frac{3}{10} = 0,3$$

| Conjunto | a | b | c | Fórmula | $\mu(x)$ |
|-----------|----|----|----|-----------------------|----------|
| Frio | 0 | 15 | 25 | $x > c \Rightarrow 0$ | 0,0 |
| Agradável | 15 | 25 | 35 | $\frac{c - x}{c - b}$ | 0,7 |
| Quente | 25 | 35 | 45 | $\frac{x - a}{b - a}$ | 0,3 |



Inferência fuzzy



DEFINIÇÃO

Processo de aplicar regras linguísticas (do tipo SE...ENTÃO...) sobre os valores fuzzy obtidos na fuzzificação.

Simula o raciocínio humano com variáveis incertas ou graduais.

Variável de entrada temperatura = 28 °C.

Fuzzificação:

- frio: 0,0;
- agradável: 0,7;
- quente: 0,3.

Regras:

- Se **temperatura é fria**, então **conforto é baixo**;
- Se **temperatura é agradável**, então **conforto alto**;
- Se **temperatura é quente**, então **conforto é médio**.

TÉCNICAS

| Mandani | Sugeno |
|--|---|
| Regras produzem conjuntos fuzzy na saída | Saída das regras é uma função ou valor escalar |
| Usa mínimo para interseção (AND), e máximo para união (OR) | |
| Saída é um conjunto fuzzy → precisa de defuzzificação | |

Mandani

1. Fuzzificar a entrada;
2. Aplicar as regras usando min para ativar a saída;
3. Combinar os conjuntos fuzzy de saída com max (união);
4. Fazer defuzzificação para obter o valor final.



Defuzzificação



DEFINIÇÃO

Etapa final do sistema de inferência fuzzy: converte um valor fuzzy (difuso) em um valor preciso (crisp).

Isso é necessário porque o sistema fuzzy lida com graus de pertencimento, mas no final queremos um único valor.

MÉTODO MAIS COMUM

Centroide (Center of Gravity (COG))

Calcula a média ponderada das saídas fuzzy.

$$Saída = \frac{\sum \mu(x) * x}{\sum \mu(x)}$$

Onde:

$\mu(x)$: grau de pertinência para x

x : valor do universo de saída

Usando o valor de 28°C, e as pertinências obtidas anteriormente:

Calcula a média ponderada das saídas fuzzy.

$$Saída = \frac{(0,7 * 25) + (0,3 * 35)}{0,7 + 0,3} = 28$$



Lógica fuzzy - implementação

