



Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Campus de Cascavel
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação
Disciplina: Inteligência Artificial
Profª: Adriana Postal

Atividade 2

Implementação de Sistemas *Fuzzy*

Aluno: Willian Cavaller Faino.

Ferramenta: MatLab.

Domínio do sistema: Classificação de IDH de acordo com o PIB per capita e a porcentagem do PIB investido na educação e na saúde.

1. Introdução

Atualmente existem diversas formas de analisar como está o desenvolvimento de um país, como o valor de seu Produto Interno Bruto (PIB), sua renda *per capita*, seu grau de industrialização. Uma das formas mais conhecidas de avaliar o desenvolvimento de um país é o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) que combina uma série de fatores para determinar se um país tem um nível de desenvolvimento baixo, médio ou alto.

O IDH é um dado estatístico criado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para contrapor dados que levam em consideração apenas aspectos econômicos, que avaliam o desenvolvimento de um país através do tamanho de sua riqueza, propondo a avaliação do desenvolvimento com a inclusão de outros fatores.

O cálculo do IDH, atualizado em 2010 em relatório do PNUD, envolve três dados: A expectativa de vida ao nascer (EV), o índice de educação (IE) e o índice de renda (IR). As fórmulas que levam ao IDH de um país são as seguintes:

$$EV = \frac{EV - 20}{83,2 - 20}$$

$$IAEE = \frac{AEE - 0}{20,6 - 0}$$

$$IE = \frac{\sqrt{IAME * IAEE} - 0}{0,951 - 0}$$

$$IR = \frac{\ln(PIBpc) - \ln(163)}{\ln(108221) - \ln(163)}$$

$$IAME = \frac{AME - 0}{13,2 - 0}$$

$$IDH = \sqrt[3]{EV * IE * IR}$$

Onde:

- EV = Expectativa de Vida ao nascer;
- IAME = Índice de Anos Médio de Estudo;
- IAEE = Índice de Anos Esperados de Escolaridade;
- AME = Anos Médios de Estudo;
- AEE = Anos Esperados de Escolaridade;
- IR = Índice de Renda;
- PIBpc = PIB *per capita*.

A seguir no relatório, serão abordados os detalhes do desenvolvimento do sistema (capítulo 2), comentários e conclusões se localizam no capítulo 3. Por fim o capítulo 4 consistirá do conjunto de referências utilizados para o desenvolvimento do sistema e do relatório.

2. Desenvolvimento

Como requerido na especificação da atividade, o sistema foi desenvolvido utilizando a lógica nebulosa. A modelagem do classificador inicialmente conta com três variáveis de entrada: O PIB *per capita* do local (medido em U\$D, variando entre 0, não incluso, até 200.000, incluso), a porcentagem do PIB (valor entre 0, não incluso, e 8, incluso, indicando a porcentagem) utilizada para financiar a educação e a porcentagem do PIB usada para financiar a saúde (valor entre 0, não incluso, e 18, incluso, indicando a porcentagem).

Os termos linguísticos de cada variável linguística de entrada são:

- a. PIB *per capita*: Baixo, Médio e Alto;
- b. Porcentagem de financiamento da educação: Baixo, Médio e Alto;
- c. Porcentagem de financiamento da saúde: Baixo, Médio e Alto.

As faixas de valores de cada termo linguístico são:

- a. PIB *per capita*:
 - i. Baixo:]0, 5500[;
 - ii. Médio: [4500, 22500[;
 - iii. Alto: [17500, 200000];

- b. Porcentagem de financiamento da educação:
 - i. Baixo:]0, 2.25[;
 - ii. Médio: [1.75, 6.25[;
 - iii. Alto: [5.75, 8];

- c. Porcentagem de financiamento da saúde:
 - i. Baixo:]0, 5.25[;
 - ii. Médio: [4.75, 14.75[;
 - iii. Alto: [13.25, 18];

Para os três termos linguísticos acima, foi usada a função de pertinência triangular, como se tratam de dados simples esta função fornece um encaixe coerente dos dados dispostos nas variáveis de entrada.

Se tratando das variáveis de saída, este sistema apresenta apenas uma que indica qual o nível do IDH da região baseado nas informações conhecidas. A variável linguística de saída é o Nível de IDH, cujos termos linguísticos são separados em Baixo, Médio e Alto, dos quais apresentam a seguinte variação:

- Baixo IDH: [0, 0.5[;
- Médio IDH: [0.5, 0.8[;
- Alto IDH: [0.8, 1].

Para os termos linguísticos do Nível de IDH, foi utilizada também uma função de pertinência triangular.

Para este sistema foram implementadas 54 regras que abrangem o uso de no mínimo 2 variáveis de entrada, para evitar generalização em excesso na classificação. A tabela a seguir indica as regras implementadas, mostrando o resultado para cada possibilidade de entrada das 3 variáveis:

PIB <i>per capita</i>	Financiamento para educação	Financiamento para saúde	Nível de IDH
Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Baixo	Baixo	Médio	Baixo
Baixo	Baixo	Alto	Baixo
Baixo	Médio	Baixo	Baixo
Baixo	Médio	Médio	Baixo
Baixo	Médio	Alto	Baixo
Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Baixo	Alto	Médio	Médio
Baixo	Alto	Alto	Médio
Médio	Baixo	Baixo	Médio
Médio	Baixo	Médio	Médio
Médio	Baixo	Alto	Médio
Médio	Médio	Baixo	Médio
Médio	Médio	Médio	Médio
Médio	Médio	Alto	Alto
Médio	Alto	Baixo	Médio
Médio	Alto	Médio	Alto
Médio	Alto	Alto	Alto
Alto	Baixo	Baixo	Médio
Alto	Baixo	Médio	Alto
Alto	Baixo	Alto	Alto
Alto	Médio	Baixo	Alto
Alto	Médio	Médio	Alto
Alto	Médio	Alto	Alto
Alto	Alto	Baixo	Alto

Alto	Alto	Médio	Alto
Alto	Alto	Alto	Alto
-	Baixo	Baixo	Baixo
-	Baixo	Médio	Baixo
-	Baixo	Alto	Médio
-	Médio	Baixo	Médio
-	Médio	Médio	Médio
-	Médio	Alto	Alto
-	Alto	Baixo	Médio
-	Alto	Médio	Alto
-	Alto	Alto	Alto
Baixo	-	Baixo	Baixo
Baixo	-	Médio	Baixo
Baixo	-	Alto	Médio
Médio	-	Baixo	Médio
Médio	-	Médio	Médio
Médio	-	Alto	Médio
Alto	-	Baixo	Médio
Alto	-	Médio	Alto
Alto	-	Alto	Alto
Baixo	Baixo	-	Baixo
Baixo	Médio	-	Baixo
Baixo	Alto	-	Médio
Médio	Baixo	-	Médio
Médio	Médio	-	Médio
Médio	Alto	-	Alto
Alto	Baixo	-	Médio
Alto	Médio	-	Alto
Alto	Alto	-	Alto

A técnica de inferência escolhida para o desenvolvimento do sistema foi a Mamdani por ser um controlador mais intuitivo e mais adequado à contribuição humana. Complementando a informação, o método de *defuzzificação* utilizado foi o método do centro de gravidade, que é semelhante à média aritmética para uma distribuição de dados.

3. Conclusões

A lógica nebulosa quando aplicada em sistemas apresenta diversos pontos positivos, pois faz uso de informações menos específicas e, se as regras estiverem bem definidas e coerentes, aponta resultados de acordo com o esperado, ou pelo menos bem aproximados. A utilização da lógica nebulosa no desenvolvimento deste trabalho permite que, em casos que não fujam do padrão, o usuário identifique a classificação do nível de IDH de uma região utilizando apenas PIB *per capita*, índice de financiamento para educação e índice de financiamento para saúde, já que, na maioria dos casos, quanto maior o investimento nestas duas áreas, maior será o nível de desenvolvimento da região, tendo em mente que a qualidade da educação e da saúde básica são fatores determinantes tanto no PIB de um país quanto na qualidade de vida da sua população.

Como não foram identificados outros sistemas que realizem a classificação do IDH através das mesmas informações que o sistema desenvolvido para este trabalho, não foi possível realizar um estudo comparativo entre as soluções para apontar as diferenças na eficiência e desempenho.

4. Referências

ARAÚJO, Joseana Macêdo Fechine Régis de. **Inteligência Artificial**: representação do conhecimento (lógica fuzzy). Representação do Conhecimento (Lógica Fuzzy). Disponível em: http://www.dsc.ufcg.edu.br/~joseana/IAPos_NA14.pdf. Acesso em: 26 jul. 2021.

FALCÃO, Djalma M.. **CONJUNTOS, LÓGICA E SISTEMAS FUZZY**. 2002. Disponível em: <http://www.nacad.ufrj.br/~falcao/coe765/Fuzzy2002.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2021.

MATHWORKS. **MATLAB**. 2021. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Acesso em: 26 jul. 2021.

OECD. **Health spending**. 2021. Disponível em: doi: 10.1787/8643de7e-en. Acesso em: 26 jul. 2021.

OECD. **OECD Health Statistics**: health expenditure indicators. Health expenditure indicators. 2021. Disponível em <https://doi.org/10.1787/data-00349-en>. Acesso em: 26 jul. 2021.

ROSER, Max; ORTIZ-OSPINA, Esteban. **Financing Education**. 2016. Disponível em: <https://ourworldindata.org/financing-education>. Acesso em: 26 jul. 2021.

WIKIPEDIA. **Índice de Desenvolvimento Humano**. 2021. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%8Dndice_de_Desenvolvimento_Humano&oldid=61639999. Acesso em: 26 jul. 2021.

WIKIPEDIA. **Produto interno bruto**. 2021. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%8Dndice_de_Desenvolvimento_Humano&oldid=61639999. Acesso em: 26 jul. 2021.

World Bank. **GDP per capita (current US\$)**. 2021. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>. Acesso em: 26 jul. 2021.