

Dengue, chikungunya ou zika: uma proposta de diagnóstico médico por meio de relações *fuzzy*

Lázaro R. Marins¹, Magda S. Peixoto²,
DFQM, Universidade Federal de São Carlos, 13052-780, Sorocaba/SP.

Resumo. Neste trabalho utilizamos equações relacionais fuzzy para propor um modelo de diagnóstico médico. Especificamente nesse caso, os pacientes foram submetidos ao vírus do mosquito *Aedes Aegypti*, aos quais podem ser diagnosticados com dengue, chikungunya ou zika. A idéia básica é relacionar os sintomas ou sinais de pacientes com essas três doenças.

Palavras-chave: *relações fuzzy, Aedes Aegypti, modelagem matemática.*

1. Introdução

Com o grande volume de informações provenientes de novas tecnologias médicas utilizadas pelos clínicos, o processo de classificar diferentes tipos de sintomas por meio de um único nome e determinar o tratamento adequado se mostra um pouco complicado. Uma doença pode se manifestar em estágios diferentes em pacientes diferentes. Assim, o conhecimento médico em relação ao sintomas-doença pode gerar dúvidas, incerteza e imprecisão no processo de diagnóstico. Uma alternativa para propor um modelo de diagnóstico médico é utilizar a Lógica *fuzzy* (Ortega, 2001), (Massad et al., 2008), (Manchini e Pappa, 2016).

A Lógica *Fuzzy*, com base na Teoria dos Conjuntos Fuzzy, introduzida em 1965 por Lofti A. Zadeh (Zadeh, 1965), tem se mostrado muito adequada para tratar incertezas da informação. De forma mais objetiva e preliminar, podemos definir essa lógica como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e convertê-las para um

¹lazarodrigo@gmail.com

²magda@ufscar.br

formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores de hoje em dia. Pode ser também definida como a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos, baseada na Teoria dos conjuntos *fuzzy* diferindo dos sistemas lógicos tradicionais. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, interpretado assim, como um processo de composição difusa Manchini e Pappa (2016), Gomide e Gudwin (1994).

Barros e Bassanezi (2010) propuseram uma modelagem matemática *fuzzy* para diagnóstico médico. Em Barros e Bassanezi (2010), tratava-se de doenças infantis, quatro pacientes com onze diferentes sintomas e quatro possíveis doenças.

Aqui, propomos diagnóstico médico por meio de equações relacionais *fuzzy* para três possíveis doenças, dengue, chikungunya ou zika, com auxílio de uma especialista (uma enfermeira padrão). O modelo de diagnóstico será utilizado para cinco pacientes fictícios, que podem apresentar dez sintomas (febre, mialgia/artralgia, edema das extremidades, exantema maculopapular, dor retroorbital, hiperemia conjuntival, linfadenopatia, hepatomegalia, leucopenia/trombocitopenia e hemorragia), retirados do boletim epidemiológico do Ministério da Saúde (Ministério da Saúde – BRASIL, 2015) relativos a essas três doenças.

2. Equações relacionais *fuzzy*

Definição 1. Uma *relação fuzzy* R sobre $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ é qualquer subconjunto *fuzzy* de $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$. Assim, uma *relação fuzzy* é definida por uma função de pertinência $\varphi_R : U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n \rightarrow [0, 1]$.

Se o produto cartesiano for formado por apenas dois conjuntos $U_1 \times U_2$, a relação é chamada de *relação fuzzy binária* sobre $U_1 \times U_2$.

Definição 2. O *produto cartesiano fuzzy* dos subconjuntos *fuzzy* A_1, A_2, \dots, A_n de U_1, U_2, \dots, U_n , respectivamente, é a *relação fuzzy* $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ cuja função de pertinência é dada por

$$\varphi_{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n} = \varphi_{A_1} \wedge \varphi_{A_2} \wedge \dots \wedge \varphi_{A_n}$$

, onde \wedge representa o mínimo.

A composição entre relações é de importância fundamental para nossa proposta de modelo de diagnóstico médico. Aqui, apresentaremos a composição mais tradicional em Lógica *fuzzy*.

Definição 3. Considere R e S duas relações *fuzzy* binárias em $U \times V$ e $V \times W$, respectivamente. A *composição* $R \circ S$ é uma relação *fuzzy* binária em $U \times W$ cuja função de pertinência é dada por

$$\varphi_{R \circ S}(x, z) = \sup_{y \in V} [\min(\varphi_R(x, y), \varphi_S(y, z))].$$

Quando os conjuntos U , V e W são finitos, então a forma matricial da relação $R \circ S$, dada pela composição [max-min], é obtida como uma multiplicação de matrizes, substituindo-se o produto pelo mínimo e a soma pelo máximo (Barros e Bassanezi, 2010).

As equações relacionais *fuzzy* tratam de achar a forma matricial de uma relação *fuzzy* binária, a partir de duas outras conhecidas. As *equações relacionais fuzzy* de interesse aqui têm a forma

$$R \circ X = T$$

onde R e T são as formas matriciais das relações *fuzzy* binárias dadas e X a forma matricial de uma relação *fuzzy* incógnita a ser encontrada.

3. Modelagem matemática

Para um diagnóstico médico, a idéia básica é relacionar os sintomas e sinais de pacientes com as possíveis doenças, de acordo com os conhecimentos de um especialista. Esses dados irão compor a base de conhecimentos que serão expressos por meio de relações *fuzzy*. Essa aplicação pode ser resumida no sistema de entrada e saídas (Barros e Bassanezi, 2010):

$$[\text{entrada (sintomas)}] \rightarrow [\text{base de conhecimentos}] \rightarrow [\text{saída (diagnóstico)}]$$

Considere os seguintes conjuntos universais, U é o conjunto dos pacientes, V o conjunto dos sintomas e W o conjunto das doenças.

Em Ministério da Saúde – BRASIL (2015), está disponível uma tabela com sintomas e sinais em comum entre dengue, chikungunya e zika e os respectivos graus com que cada sintoma está relacionado com cada doença (ver Tabela 1).

Tabela 1: Sinais e sintomas em comum entre dengue, chikungunya e zika.
 Fonte: Ministério da Saúde – BRASIL (2015)

Sinais e sintomas	Dengue	Chikungunya	Zika
Febre	++++	+++	+++
Mialgia/artralgia	+++	++++	++
Edema das extremidades	ausente	ausente	++
Exantema maculopapular	++	++	+++
Dor retroorbital	++	+	++
Hiperemia conjuntival	ausente	+	+++
Linfadenopatia	++	++	+
Hepatomegalia	ausente	+++	ausente
Leucopenia/trombocitopenia	+++	+++	ausente
Hemorragia	+	ausente	ausente

De acordo com a Tabela 1, definimos $s_1 =$ febre, $s_2 =$ mialgia/artralgia, $s_3 =$ edema das extremidades, $s_4 =$ exantema maculopapular, $s_5 =$ dor retroorbital, $s_6 =$ hiperemia conjuntival, $s_7 =$ linfadenopatia, $s_8 =$ hepatomegalia, $s_9 =$ leucopenia/trombocitopenia e $s_{10} =$ hemorragia, e os diagnósticos $d_1 =$ dengue, $d_2 =$ chikungunya e $d_3 =$ zika.

Esses dados, irão compor a base de conhecimento que serão expressos por meio de equações relacionais *fuzzy*. Dados esses que, segundo a especialista, condizem com as situações presenciadas em seu "dia a dia" de trabalho.

Agora, faz-se necessário ter o conhecimento dos graus de pertinência de cada sintoma com relação a cada doença, e para isso fizemos a conversão dos símbolos da Tabela 1 para os valores pertencentes ao intervalo $[0, 1]$, temos a Tabela 2.

Tabela 2: Matriz da Relação R : sintomas e diagnósticos.

sintoma (s) \ doença (d)	d_1	d_2	d_3
s_1	1	0,75	0,75
s_2	0,75	1	0,5
s_3	0	0	0,5
s_4	0,5	0,5	0,75
s_5	0,5	0,25	0,5
s_6	0	0,25	0,75
s_7	0,5	0,5	0,25
s_8	0	0,75	0
s_9	0,75	0,75	0
s_{10}	0,25	0	0

A Tabela 2 representa a relação *fuzzy* R onde seus valores indicam o grau com que cada sintoma está relacionado com cada doença. Por exemplo, o valor $R_{73} = 0,25$, indica que numa escala entre 0 e 1, o sintoma s_7 , linfadenopatia, está relacionado com a doença d_3 , zika, com grau 0,25.

A Tabela 3 traz um valor entre $[0, 1]$ que indica o grau com que cada sintoma se manifestou nos pacientes, elaborados com o auxílio de uma especialista na área da saúde (uma enfermeira padrão de Sorocaba/SP), elaboramos os dados de cinco pacientes P_1, P_2, P_3, P_4 e P_5 , com sinais e sintomas e diagnósticos dados pela Tabela 1.

Tabela 3: Relação *fuzzy* S : pacientes x sintomas.

Paciente (P) \ (s)	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}
P_1	0,9	0,5	0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,4	0
P_2	0,7	1	0	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,2	0
P_3	0,6	0,5	0,2	0,9	0,1	0,8	0,3	0	0	0,4
P_4	0,3	0,1	0,4	0,8	0,9	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1
P_5	1	0,8	0	0,4	0,8	0	0	0	0,8	0

A partir da relações *fuzzy* S e R é possível obter o diagnóstico médico de cada paciente, ou seja, como o modelo matemático que adotamos para diagnosticar foi $S \circ R$, então para obter o grau da doença para cada paciente, de acordo com a formula,

$$D = S \circ R$$

então, para obter o grau da doença para cada paciente, de acordo com a fórmula,

$$\varphi_{R(P_j)}(d_k) = \max_{1 \leq i \leq 10} [\min[\varphi_R(s_i, d_k), \varphi_{P_j}(s_i)]]$$

onde $j = 1, \dots, 5$ e $k = 1, \dots, 3$.

4. Resultados e Conclusões

O que desejamos obter é uma relação fuzzy D , de modo que $S \circ R = D$, onde R e S são, respectivamente, as representações matriciais das relações fuzzy dos sintomas característicos de cada paciente e do grau com que cada sintoma está relacionado com cada doença, dadas em $U \times V$ e $V \times W$, respectivamente.

Nossa base de conhecimento é composta pelas relações fuzzy R e S , cujas matrizes são representadas nas tabelas 2 e 3.

Assim, a matriz resultante D , representada na Tabela 4, é formada pelos graus de cada uma das doenças apresentadas pelos pacientes, pois R é uma relação em $U \times V$ (pacientes x sintomas), S é uma relação em $V \times W$ (sintomas x doenças) e, conseqüentemente, a composição resulta em uma relação $U \times W$ (pacientes x doenças).

Tabela 4: Relação fuzzy D : paciente x doença

sintoma doença	d_1	d_2	d_3
P_1	0,9	0,75	0,75
P_2	0,75	1	0,7
P_3	0,6	0,6	0,75
P_4	0,5	0,5	0,75
P_5	1	0,8	0,75

Na tabela 4 acima, as linhas são os pacientes considerados e as colunas são as doenças, ou seja, os diagnósticos de cada paciente. Notamos na tabela, que o paciente P_1 , pela modelo aqui proposto, tem maior possibilidade de estar com dengue (d_1), pois possui grau de pertinência 0,9, enquanto que chikungunya e zika apresentam ambas 0,75 de grau de pertinência. O paciente P_2 pode estar com chikungunya (d_2) com grau de pertinência 1. P_3 e P_4 , ambos com grau de pertinência 0,75 tem maior possibilidade de ser diagnosticado com zika. Já o paciente P_5 tem grande chance se estar com dengue, com grau 1 de pertinência.

Observa-se um fato muito importante o qual a enfermeira padrão esperava, isto é, os resultados do diagnóstico muito próximos um do outro, uma vez que as doenças pesquisadas possuem muito sintomas parecidos, exceto em alguns casos específicos como hemorragia, por exemplo, presente na dengue e ausente em chikungunya e zika.

Com os resultados do modelo *fuzzy* disponíveis na Tabela 4 e apresentados à enfermeira padrão, a mesma disse estar surpresa com os resultados da pesquisa, porém mesmo tendo já previsto os diagnósticos, não esperaria os acertos dos resultados do diagnóstico dos pacientes.

Notamos ainda que a resposta da composição também é um conjunto *fuzzy*, pois nem sempre responde o diagnóstico do paciente, mas fornece a distribuição de possibilidades do paciente no conjunto de doenças dado que ele apresenta uma certa distribuição de possibilidades no conjunto de sintomas. Outra propriedade importante da relação *fuzzy* é que à medida que se obtém diagnósticos de novos pacientes, estes podem ser incluídos na base de conhecimentos aumentando assim a capacidade de se obter mais diagnósticos por meio de relações *fuzzy*, tal como faz o médico Barros e Bassanezi (2010), Massad et al. (2008), Jafelice et al. (2008).

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à CAPES pela bolsa de Mestrado. Os autores agradecem a enfermeira padrão que colaborou de forma anônima.

Referências

- Barros, L. C. e Bassanezi, R. C. (2010). *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*, volume 5 of *Coleção Textos Didáticos*. IMECC–UNICAMP.
- Gomide, F. A. C. e Gudwin, R. R. (1994). Artigo científico. Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial – UNICAMP.
- Jafelice, R. S. M., Barros, L. C., e Bassanezi, R. C. (2008). Usando a teoria dos conjuntos fuzzy na modelagem de fenômenos biológicos. Simpósio de Aplicação em Lógica Fuzzy – Mini Curso.
- Manchini, D. P. e Pappa, G. L. (2016). Lógica difusa: Lógica fuzzy aplicada

à medicina. URL: <http://www.din.uem.br/ia/intelige/fuzzy/index.htm/>
Acesso em: 21/05/2016.

Massad, E., Ortega, N. R. S., Barros, L. C., e Struchiner, C. J. (2008). *Fuzzy Logic in Action: Applications in Epidemiology and Beyond*. Springer.

Ministério da Saúde – BRASIL (2015). Febre pelo Zika: uma revisão narrativa sobre a doença. *Boletim Epidemiológico*, 46.

Ortega, N. R. S. (2001). Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da medicina. Master's thesis, USP, São Paulo/SP.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338–353.