



## Diagnostico medico e epidemiologia fuzzy para o gênero *Corynebacterium*

Guaracy de Araújo Lima<sup>1</sup>, Elaynne Anselmo dos Santos<sup>2</sup>, Sebastião Pereira Nascimento<sup>3</sup>.

1 Graduando em Lic. Ple. Matemática (IFPI) e Bacha. Sistemas de Informações (UFPI). 2 Graduando em Ciências Jurídicas (UESPI). 3 Mestre em Engenharia agrônoma- Cobertura Vegetal (UFPI) e professor do IFPI.

**Resumo:** A Modelagem Matemática tem como objetivo interpretar e compreender os mais diversos fenômenos do nosso cotidiano e poder descrevê-los, analisá-los e interpretá-los com o propósito de gerar discussões reflexivas sobre tais acontecimentos que nos cercam. Neste trabalho, a modelagem é realizada através da Teoria dos conjuntos Fuzzy, o qual se dá pela análise do modelo epidemiológico SIR e com a inserção no modelo das características individuais e populacionais provenientes dos modelos baseados em indivíduos (MBI), com a finalidade de amenizar as ambiguidades na modelagem matemática de doenças aonde exista a infecção de indivíduos de forma espontânea e natural através do contato entre indivíduos, e que dentre estes indivíduos infectados, existam aqueles que sobrevivam à infecção, ou seja, os indivíduos recuperados. O trabalho tem por objetivo também, o diagnóstico médico fuzzy de doenças causadas pelas bactérias do gênero *Corynebacterium*. É proposta ainda a criação de um sistema especialista capaz de diagnosticar possíveis infecções por bactérias do gênero *Corynebacterium*, visando deste modo incrementar na área da medicina, um sistema especialista capaz de auxiliar e facilitar o diagnostico medico para tais doenças, e até mesmo prever eventuais erros no diagnostico.

**Palavras-chave:** Diagnostico medico fuzzy, difteria, epidemiologia, sistemas especialistas, apoio a tomada de decisões.

### 1. INTRODUÇÃO

O estudo de propagação de doenças transmissíveis (epidemias) teve um desenvolvimento bastante lento até o século XIX, sendo finalmente assumido como pesquisa científica a partir dos trabalhos desenvolvidos por Pasteur & Kock. A partir de meados de 1927, os modelos matemáticos formulados por Kermack – McKendrick, consideram que uma epidemia com micro parasita (vírus e bactérias) ocorre em uma comunidade fechada através do contato entre pessoas infectadas e sadias (VILLELA & SANTOS, 2008). Neste presente trabalho, será tratada a difteria e as bactérias do gênero *Corynebacterium* como seres causadores de doenças no corpo humano.

A *Corynebacterium diphtheriae*, mais conhecido como bacilo diftérico, é um bacilo gram-positivo em forma de clava, o qual é subdividido em três biótipos chamados *Mitis*, *Intermedium* e *Gravis*, divisão esta que se refere ao estagio patológico da difteria. O bacilo diftérico pode causar infecções em diferentes órgãos (pele, laringe, órgãos genitais), com enfoque principal para a faríngea que pode ser adquirida através da inalação de aerossóis proveniente de pessoas doentes (seres infectados com carga viral máxima) ou de portadores normais do bacilo diftérico (infectados com carga viral mínima)(TRABULSI & ALTERTHUM, 2008).

O modelo empregado no estudo do fenômeno é o SIR (susceptíveis – infectados – recuperados), não apenas pela sua maior facilidade de compreensão, mas por abordar de maneira satisfatória a dinâmica do processo.

## 2. O MODELO

No modelo epidemiológico, denotamos S como sendo os indivíduos susceptíveis à infecção pelo bacilo, I são os indivíduos infectados pelo bacilo, e R os indivíduos recuperados da infecção pelo bacilo diftérico. Para o estudo epidemiológico fuzzy diftérico, partimos do pressuposto de que a transmissão do bacilo diftérico dar-se á pela inalação de aerossóis proveniente de indivíduos infectados, e que a transmissão se dá de forma espontânea e natural. As equações diferenciais que compõe o modelo são:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \alpha I \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \alpha I - \beta R \quad (3)$$

Onde  $\alpha$  é a taxa de recuperação,  $\beta$  é o coeficiente de transmissão da doença. Os conceitos de susceptíveis, infectados, taxa de transmissão e taxa de recuperação, são conceitos repletos de ambiguidades, pelo fato de existirem diferentes graus de susceptibilidade, infecciosidade, bem como existem diversas taxas de transmissão e recuperação entre indivíduos de uma determinada população.

Diante desta heterogeneidade populacional e considerando que o parâmetro  $\beta$  como sendo um numero *fuzzy*, dessa forma o domínio da função de pertinência  $\beta$  é o próprio conjunto dos reais ( $\beta \in \mathbb{R}$ ) (reta real) e os seus  $\alpha$ -níveis são os intervalos de variação.

A teoria dos conjuntos fuzzy foi desenvolvida em 1965 por Lotf Asker Zadeh (mais conhecido como Professor Zadeh), que publicou em meados de 1973 o trabalho que formalizou a lógica fuzzy. (LIMA & NASCIMENTO, 2011). A logica fuzzy é a logica que trata dos aspectos vagos da informação. Nela não apenas diz-se que um dado elemento pertence a um conjunto específico (como ocorre na lógica clássica ou Aristotélica), mas sim se calcula um grau de pertinência desse elemento em relação ao conjunto (LIMA & NASCIMENTO, 2012) e representa-se por.

$$\mu x : U \rightarrow 0,1 \quad (4)$$

Com base nos termos da teoria dos conjuntos fuzzy e admitindo que  $v$  seja a carga viral, chegamos que  $\beta = \beta v$ , isto é, o coeficiente de transmissão da doença depende da carga viral  $v$ , sendo  $\beta$  e  $v$  subconjuntos fuzzy. Dessa forma, pode-se dizer que quanto maior o valor de  $v$ , maior será a chance de que ocorra uma nova infecção. Definimos ainda  $V_{\min}$  como sendo a carga viral mínima do bacilo diftérico para que haja a chance de ocorrer à transmissão, e que a partir de uma carga viral media  $V_m$  a chance de uma nova infecção seja máxima, ou seja, a partir

de uma carga viral  $V_m$  a probabilidade de ocorrer uma nova infecção seja um evento certo, assim pode se dizer que

$$\lim_{v \rightarrow \infty} \beta v = V_{max} \quad (5)$$

Buscando salientar ainda mais o uso da teoria dos conjuntos fuzzy no modelo epidemiológico SIR, incluímos aqui a análise indivíduo – população advinda dos modelos MBI (modelos baseados em indivíduos) (BARBOSA et al, 2008) análise esta que é feita analisando-se os intervalos característicos tanto da população em geral quanto do indivíduo em si, já que ambos são complementares entre si, e que fazem parte de um bioma comum.

O intervalo de caracterização do indivíduo é dado por:

$$I_{m,t} = C_1, C_2, \dots, C_n \quad (6)$$

Onde  $m$  é o tamanho da população na qual o indivíduo este inserido,  $t$  é o instante (tempo) em que a característica esta sendo observada, e  $C_n$  é o conjunto de características do indivíduo, características estas que podem ser o seu estado patológico, tempo de infecção, estagio de recuperação.

Já para a análise característica da população, partimos do pressuposto de que uma população é composta de indivíduos, temos:

$$P_t = I_{1,t}, I_{2,t}, \dots, I_{m,t}^T \quad 7$$

O estudo da população no instante  $t = t_1$  é o conjunto das características de cada indivíduo neste instante e, a alteração nesse estado se dá quando pelo menos uma característica  $C_m$  mudou em pelo menos um indivíduo da população. O modelo tem como solução escrevendo-se

$$I = \beta 1 - I I \quad (8)$$

Deforma geral, conclui-se que a solução para o modelo após a inserção dos parâmetros abordados nas equações (6) e (7) e com algumas manipulações algébricas mais, chegamos a:

$$I_{v,t} = \frac{I_0 e^{\beta v t}}{S_0 + I_0 e^{\beta v t}} \quad (9)$$

### 3. SISTEMA ESPECIALISTA DE DIAGNOSTICO MEDICO FUZZY

Matematicamente, podemos analisar o modelo como sendo composto pelo conjunto dos pacientes  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , com os sintomas  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , apresentam os diagnósticos  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . Esses dados, vão compor uma base de dados que serão validado por meio de uma relação binária fuzzy do tipo  $U \times V$ , pois no diagnostico medico fuzzy, o que se deseja obter é uma relação fuzzy  $R$  de modo que  $R \circ \Phi = \Omega$ , onde  $\Phi$  e  $\Omega$  são as representações matriciais da relação fuzzy dos sintomas e diagnósticos dados em  $U \times V$  e  $V \times U$ . A qual é matematicamente representada por:

$$\mu_{R \ Pn} \ d_n = \max_{1 \leq i \leq n} [\min(u_r \ d_n, s_n, u_{pn}(s_i))]$$

Consideremos que em uma dada população a densidade de indivíduos susceptíveis no instante  $t$  seja  $x(t)$  e a densidade de infectados seja  $y(t)$ , as equações diferenciais que definem o modelo são

$$\frac{dx}{dt} = -\beta v, td x \quad (10)$$

E

$$\frac{dy}{dt} = \beta v, td (1 - y) \quad (11)$$

Em que  $td$  é o subconjunto fuzzy para a toxina diftérica, que é o principal fator de virulência do bacilo diftérico.

Segundo VILLELA & SANTOS (2008), as soluções para as equações (10) e (11) são :

$$x(t) = e^{(-\beta v, td t)} \quad 12$$

E

$$y(t) = 1 - e^{-\beta v, td t} \quad 13$$

Com base nisso tudo, para se conhecer o valor de  $x(t)$ , necessitamos de avaliar a taxa de transferência  $\beta = \beta(v, td)$  que embora dependa da carga viral e da toxina diftérica, não sabemos expressar matematicamente esta dependência, pois os conceitos de  $v$  e  $td$ , além de vagos e imprecisos, não são escritos em uma linguagem matemática, mas sim na linguagem natural humana. Para tanto, podemos usar como recurso a lógica fuzzy, assim criamos o sistema nebuloso com duas variáveis de entrada e apenas uma saída. O sistema é representado na imagem abaixo:

#### SEDMF- SISTEMA ESPECIALISTA DE DIAGNOSTICO MEDICO FUZZY

Autores: Guaracy A.Lima Elayne A. Santos Sebastião P. nascimento



Figura 1: Sistema de inferências para tratamento da do parâmetro  $\beta$

O bloco de regras (aqui chamado INFERENCIA), tem o valor de uma função matemática para obtermos  $\beta$ ; com o uso da teoria fuzzy, temos o conjunto de regras baseados em linguagem logica do tipo <SE (condição) E (condição) , ENTÃO (conclusão)>, com isso podemos tratar de forma satisfatória o coeficiente  $\beta$  .

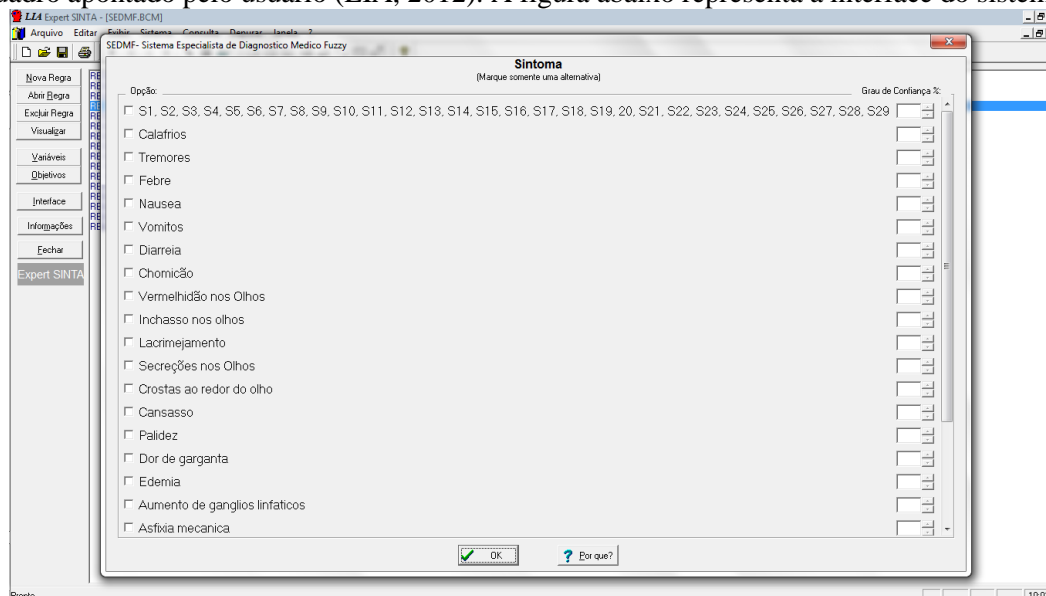
Assim, o diagnostico medico fuzzy, é obtido através da composição de relações fuzzy, a qual é abordada na tabela abaixo, mediante as doenças aqui relacionas ( conjunto dos sintomas), de forma que estes dados pertencem ao sistema especialista desenvolvido neste trabalho, o qual tem as suas tomadas de decisões baseada no pressuposto acima relacionada, ou seja, suas decisões são baseadas em regras logicas do tipo se<condição> e<condição> então <conclusão>.

Se	Condição	E	E	Conclusão (diagnostico)
<b>Paciente ap.</b>	Asfixia mecânica	Cansaço	Palidez	Difteria
<b>Paciente ap.</b>	Tremores	Náuseas	Diarreia	Bacteremia
<b>Paciente ap.</b>	Febre baixa	Necessidade de urinar com frequência	Urina turva ou com sangue	Infecção no trato urinário

Tabela 1: Estrutura das regras do sistema especialista

No sistema especialista, deu-se a preferencia por utilizar apenas três sintomas para a maquina de inferências, pois acredita-se que apenas três sintomas descrevem de maneira satisfatória o o processo de diagnostico medico fuzzy.

O sistema especialista de diagnostico medico fuzzy-SEDMF, foi desenvolvido com o uso da ferramenta Expert SYNTA, que é uma ferramenta computacional que utiliza técnicas de Inteligência Artificial para geração automática de sistemas especialistas. Esta ferramenta utiliza um modelo de representação do conhecimento baseado em regras de produção e probabilidades, tendo como objetivo principal simplificar o trabalho de implementação de sistemas especialistas através do uso de uma máquina de inferência compartilhada, da construção automática de telas e menus, do tratamento probabilístico das regras de produção e da utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada. Um sistema especialista baseado em tal tipo de modelo é bastante útil em problemas de classificação. O usuário responde a uma sequência de menus, e o sistema encarregar-se-á de fornecer respostas que se encaixem no quadro apontado pelo usuário (LIA, 2012). A figura abaixo representa a interface do sistema:







#### 4. CONCLUSÃO

O Diagnóstico Médico fuzzy apresentado feito neste trabalho teve por finalidade imitar a atuação do médico em seus diagnósticos de doenças causadas por bactérias do gênero *Corynebacterium*, tais como Bacteremia, infecções oculares, difteria respiratória, endocardite, dentre outras. Abordamos ainda a inserção dos intervalos caracterizadores tanto dos indivíduos quanto de suas populações no modelo Susceptível Infectado Recuperado, pois acredita-se que desta forma, pode se eliminar as ambiguidades presentes neste modelo matemático.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

BARBOSA, A.M; PEREIRA,E.B; LACERDA,M.J; NEPOMUCENO,E.G. **Dinâmica de epidemias: Desenvolvimento de uma ferramenta fuzzy para estimação da taxa de infecção em modelos epidemiológicos.** In: Anais do VII Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications. São Paulo, 2008.

LIA; **Expert SINTA: manual do usuário.** Laboratório de inteligência artificial, UFCE, Fortaleza. Disponível em: <http://www.lia.ufc.br> Acesso em 23 de julho de 2012

LIMA, G.A; NASCIMENTO, S.P; **Logica fuzzy: histórico e aplicações para o desenvolvimento humano.** in: Anais do VI CONNEPI, Natal, 2011.

LIMA, G.A; NASCIMENTO, S.P; **Uso da logica fuzzy na quantificação do grau de erosividade das chuvas no núcleo de desertificação de Gilbués.** in: Anais do IV ENCIPRO, Teresina, 2012.

TRABULSI, L.R; ALTERTHUM, F. M. **Microbiologia.** Vol. 5, ed. Atheneu, São Paulo 2008.

VILELA,M.F.S; SANTOS, P.B. **Diagnostico medico fuzzy de doenças infantis.** In: FAMAT em revista, nº 09, Uberlândia, 2007.