REVISTA Mundi
Engenharia, Tecnologia e Gestão
INSTITUTO FEDERAL Paraná

MODELOS MATEMÁTICOS EPIDEMIOLÓGICOS NUM CONTEXTO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

EPIDEMIOLOGICAL MATHEMATICAL MODELS IN A CONTEXT OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIETY

Marlon de Oliveira Alves da Silva[1]
Fábio Alliguieri dos Santos da Silva[2]

Resumo: No presente trabalho são abordados os modelos matemáticos aplicados a epidemiologia sob um viés da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). A epidemiologia é uma ciência que estuda e analisa os fatores que influenciam no surgimento de doenças infecciosas transmissíveis. Tendo em vista que a abordagem CTS visa identificar uma visão social da ciência e da tecnologia, esse artigo apresenta o contexto histórico e as evoluções da modelagem matemática na epidemiologia, apontando as suas contribuições para a sociedade através de seus resultados que possibilitaram propor condições para a estabilização de doenças como o desenvolvimento de vacinas, reduzindo as taxas de mortalidade. Com a descrição do contexto histórico, apresenta-se a construção de um paradigma cientifico definido por Thomas Kuhn, formado pelo modelo de Kermack e McKendrick, o qual teve por objetivo estudar a propagação da peste bubônica. Dentro desse contexto, considera-se o "Modelo de Kermack e McKendrick como um paradigma", pois serviu como um modelo padrão, fornecendo informações para a elaboração de novos modelos teóricos. Por fim, aborda-se os modelos matemáticos sob um viés da CTS, apontando a sua capacidade de atender as necessidades da sociedade através da utilização da simulação numérica, como o que foi apresentado com o Modelo de Bernoulli que norteou as ações da política da saúde pública para o controle, contenção e prevenção da varíola.

Palavras-chave: Modelos matemáticos. CTS. Epidemiologia.

Abstract: In the present work the mathematical models applied to epidemiology are approached under a bias of Science, Technology and Society (STS). Epidemiology is a science that study and analyze the factors that influence the emergence of infectious communicable diseases. In view of that the STS approach aims to identify a social vision of science and technology, this article presents the historical context and the evolution of mathematical modeling in epidemiology, pointing out its contributions to society through its results that made it possible to propose conditions for stabilization of diseases such as vaccine development, reducing mortality rates. With the description of the historical context, it is presented the construction of a scientific paradigm defined by Thomas Kuhn, formed by the model of Kermack and McKendrick, whose objective was to study the propagation of bubonic plague. Within this context, considers "the Kermack and McKendrick Model as a paradigm", because it served as a standard model, providing information for the elaboration of new theoretical models. Finally, it discusses the mathematical models under a bias of the STS approach, pointing out its capacity to meet the needs of society through the use of numerical simulation, as presented with the Bernoulli Model that guided the actions of public health policy for control, containment and prevention of smallpox.

Keywords: Mathematical Models. STS. Epidemiology.

[1] Mestrando em Ciência Tecnologia e Sociedade (PPGCTS), Instituto de Federal do Paraná, Paranaguá. E-mail: marlon_941@live.com.
[2] Doutor em Física. Docente do curso de Mestrado em Ciência Tecnologia e Sociedade (PPGCTS), Instituto de Federal do Paraná, Paranaguá. E-mail: fabio.alliguieri@ifpr.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Ocasionalmente a manifestação da ciência na sociedade pode ser difícil de perceber, pois a grande maioria das pessoas acredita que esse conhecimento ainda é algo distante e isolado, uma vez que geralmente é facilmente relacionado com notáveis desenvolvimentos científicos (BAZZO, 2003). Apesar das dificuldades da identificação da relação dos conhecimentos científicos e a sua contribuição para a sociedade, a ciência possui uma grande relevância social.

Contudo, atualmente o conhecimento científico e tecnológico cresceu num ritmo que impactou a sociedade, causando mudanças nos níveis econômicos, político e social (VAZ, 2009). Uma das formas que a ciência relaciona-se com a sociedade é através de propostas de soluções para problemas significativos sociais. Dentro desse contexto, pode-se citar a Física que é uma das ciências responsáveis pelo desenvolvimento tecnológico. A Física permite uma compreensão da natureza através de modelos matemáticos, os quais possibilitam a realização de previsões sobre os fenômenos naturais estudados, além de uma compreensão mais rigorosa dos mesmos. Esta técnica também é utilizada em várias áreas do conhecimento como: economia, química, biologia, engenharia, etc (SODRÉ, 2007). Resumidamente, a modelagem matemática é uma técnica que pode contribuir na solução de problemas complexos, realizada através de um conjunto de equações, ela pode oferecer uma compreensão quantitativa dos fenômenos estudados e uma possibilidade de previsão temporal e espacial.

Diante desse contexto, a ciência se interessa pelas leis da natureza, enquanto a tecnologia aplica o conhecimento científico para construir coisas novas, máquinas novas que podem melhorar as condições de vida das pessoas. Portanto esses dois conhecimentos estão profundamente relacionados, ou seja, sem as pesquisas científicas, não há progresso tecnológico e sem tecnologia, não há novos instrumentos de pesquisa (GIACOMELLI, 2004).

A fim de apresentar a identificação da contribuição da ciência na sociedade, o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) constitui uma tríade conceitual que apresenta uma relação entre o conhecimento cientifico e tecnológico na sociedade. Os estudos na área da CTS definem um campo de pesquisa constituído pelos aspectos sociais da ciência e da tecnologia, possuindo um caráter crítico e interdisciplinar. Desse modo, no campo da pesquisa, esse enfoque promove uma visão não tradicional e socialmente contextualizada da atividade científica (BAZZO, 2003).

Esse artigo tem por objetivo apresentar os modelos matemáticos aplicados a epidemiologia sob um viés da abordagem da CTS, os quais envolvem informações importantes para a compreensão da disseminação de doenças infecciosas transmissíveis, através do contato entre pessoas suscetíveis e infectadas (MING et al., 2011). Consequentemente, percebe-se a relação do enfoque CTS com os modelos matemáticos, devido a sua contextualização social no estudo da propagação e controle de epidemias que afetaram a sociedade.

Uma epidemia pode ser causada por quatro principais micro-organismos: parasitas, vírus, bactérias e fungos, os quais são considerados como agentes infecciosos que procuram um hospedeiro, como humanos ou animais. Pode-se citar uma das mais famosas epidemias da história conhecida como a Morte negra ou Peste Negra, a qual foi causada por uma bactéria no século XIV na Europa, devido essa epidemia um terço da população morreu. Diante desse contexto, um dos objetivos da epidemiologia é estudar as condições de saúde da população e os fatores que influenciam para o surgimento de epidemias, identificando formas estratégicas para o controle e a prevenção a doenças infecciosas (HAIDUCK, 2008).

A fim de apresentar modelos matemáticos aplicados à epidemiologia sob um viés da CTS, esse artigo apresentará o contexto histórico da construção e a evolução dos modelos, os quais auxiliaram na estabilização das epidemias que tiveram um grande impacto na sociedade. Por fim, será contextualizado os modelos matemáticos com o enfoque CTS.

2 Modelos Matemáticos Aplicados à Epidemiologia

A epidemiologia é a ciência que estuda e analisa os padrões das ocorrências de doenças em populações humanas (ROCHA, 2012), nas quais são descritas as distribuições das doenças para identificar fatores chaves para a detenção, prevenção e controle.

As epidemias causadas por doenças infecciosas têm sido registradas desde a Grécia Antiga e o antigo Egito, os quais apresentam relatos de varíola, lepra, tuberculose e outras doenças transmissíveis. A disseminação dessas doenças foi causada pelas condições de higiene inadequadas e a falta de recurso da medicina, as quais possibilitaram na eficiência na difusão de doenças que causaram em danos a raça humana semelhante a uma guerra (SANTOS, 2016).

A maioria das doenças que ocasionam epidemias foi transportada no século XIV através de rotas marítimas entre a Europa e o Oriente Médio, nos quais barcos carregavam cargas juntamente com indivíduos infectados que foram responsáveis pela transmissão de epidemias (BARROS, 2007). Uma das formas de se impedir a difusão das doenças é através de medidas preventivas e de controle, nesse contexto se encaixa os estudos epidemiológicos.

A fim de apresentar a introdução dos modelos matemáticos na epidemiologia, cita-se primeiramente alguns dos movimentos sociais na área da saúde como a implantação da medicina urbana na França (Revolução de 1789), a qual teve por objetivo sanear os espaços das cidades, isolando construções públicas de áreas consideradas miasmáticas, através da regularização da localização de cemitérios e hospitais. Outra intervenção que contribuiu para o monitoramento de doenças ocorreu na Alemanha com a Política Médica proposta por Johann Peter Franck, tendo por objetivo sistematizar as medidas de controle e vigilância das doenças (FILHO, 1985).

Em 1895, P.C Alexandre Louis contribuiu para a epidemiologia com uma publicação feita em Paris, na qual apresentou um estudo estatístico de 1960 casos de tuberculose (FILHO, 1985). Louis contribuiu também com a avaliação dos tratamentos clínicos, nos quais os doentes foram quantificados através de suas características em comum (BARROS, 2013). Essa abordagem através de métodos estatísticos influenciou o desenvolvimento de estudos de morbidade na Inglaterra e nos Estados Unidos.

Além dos estudos estatísticos, a descoberta dos micro-organismos causadores de doenças trouxe uma contribuição para os estudos de epidemias. Pode-se citar o trabalho de John Snow, o qual estudou a transmissão da cólera relacionando a incidência de casos ao consumo de águas contaminadas por uma matéria mórbida, a qual foi responsável pelas diarreias agudas com desidratação. Além dos estudos de Snow, menciona-se também os experimentos de Louis Pasteur (CERDA; VALDIVIA, 2007) que demonstrou em seus experimentos o surgimento de enfermidades transmissíveis com a presença de micro-organismos no ambiente. O experimento de Pasteur trouxe uma grande contribuição para a Teoria Microbiana de Doenças.

A compreensão do mecanismo de surgimento de doenças não foi suficiente para a contenção das epidemias. Desse modo, a epidemiologia teve um reforço com modelos matemáticos, os quais apresentaram o ponto de vista quantitativo desempenhando um papel relevante na busca do entendimento das interações ocorridas entre os seres vivos e o meio ambiente (BARROS, 2007). Os modelos matemáticos passaram a desempenhar um papel fundamental para a compreensão das interações ocorridas entre os seres vivos, auxiliando no monitoramento e análise do comportamento futuro do sistema.

2.1 Contexto histórico dos modelos matemáticos epidemiológicos

Um dos primeiros modelos matemáticos epidemiológicos surgiu em 1760 com o estudo de Daniel Bernoulli, o qual desenvolveu um modelo para a propagação da varíola (SANTOS, 2016). Essa doença foi a responsável por 10% de mortalidade infantil na Europa. Para avaliar os efeitos da doença, Bernoulli utilizou equações diferenciais que apresentaram a evolução temporal da varíola na população suscetível:

$$\frac{dS}{dt} = -aS - mS, \quad (1)$$

$$\frac{dN}{dt} = -\mu aS - mN, \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = a(1 - \mu)S - mR, \quad (3)$$

sendo que $S(t)$ é a população de suscetíveis à doença no instante t, $N(t)$ é a população total, a é a constante associada à taxa contaminação dos susceptíveis, μ é a proporção de susceptíveis que morrem por consequência da doença, m é a constante associada à taxa de morte natural e $R(t)$ representa as pessoas que sobreviveram a doença, as quais se tornaram imunes (MONTEIRO, 2011). O modelo de Bernoulli apresentou resultados que influenciaram as políticas de saúde pública, trazendo imunidade aos indivíduos através da inoculação do vírus obtido nas pessoas infectadas (ARAÚJO, 2015), reduzindo a taxa de mortalidade através da vacina.

Com o avanço do conhecimento da medicina sobre as causas das doenças, na segunda metade do século XIX, ocorreu uma expansão no desenvolvimento de teorias matemáticas para a compreensão dos fenômenos naturais. Desse modo, os modelos teóricos aplicados à epidemiologia evoluíram, mudando também os paradigmas estabelecidos pelos modelos anteriores, os quais consideravam apenas a dimensão temporal dos casos relacionados ao mecanismo da propagação das doenças (TAKIGUTI, 1986). Os novos modelos elaborados começaram a apresentar a análise de contatos sociais para a transmissão das doenças.

Em 1906, Hamer em sua pesquisa formulou um modelo para o sarampo, no qual considerou que o desenvolvimento de uma epidemia depende de fatores chaves, tais como a quantidade de pessoas ou grupos suscetíveis, o número de infectados e a taxa de contato entre os indivíduos (BARROS, 2007).

Em 1908, Ronald Ross desenvolveu um modelo para estudar a transmissão da malária (BACAER, 2011), no qual apresentava uma linguagem matemática envolvendo um conjunto de parâmetros que possibilitou a formular a hipótese da existência de um valor limite da quantidade de mosquitos, indicando condições para o controle da doença (BARROS, 2007). Desse modo, Ross concluiu e demonstrou que a transmissão da malária se dava através dos mosquitos.

Aproximadamente vinte anos mais tarde, Kermack e Mckendrick em 1927 formularam um modelo epidemiológico para estudar a disseminação da epidemia da peste bubônica que ocorreu na cidade de Mumbai na Índia, entre os anos de 1905 e 1906 (MONTEIRO, 2011). Esse modelo teórico apresenta a divisão da população em três classes de indivíduos: Suscetíveis, infectados e removidos:

$$\frac{dS}{dt} = -aSI, \tag{4}$$

$$\frac{dI}{dt} = aSI - bI, \tag{5}$$

$$\frac{dR}{dt} = bI, \tag{6}$$

as constantes a e b representam a interações entre o agente infeccioso (bactéria) e a população (hospedeiro).

A classe dos suscetíveis é composta por indivíduos que podem contrair a doença através do contato com pessoas infectadas. A classe de infectados é constituída por indivíduos que contraíram a doença e podem transmiti-la. A classe formada pelos removidos representa os indivíduos que morreram ou se recuperaram, tornando-se imunes a doença (MONTEIRO, 2011). O modelo matemático de Kermack e Mckendrick, apresenta as interações entre os indivíduos, cujo objetivo é realizar a previsão de vacinação necessária para erradicar ou estabilizar doença.

Esse modelo matemático serviu de paradigma para a epidemiologia Moderna (SOARES, 2010), o qual teve muitas variações empregadas para a compreensão da disseminação de doenças. Diante desse contexto, um paradigma serve como um modelo ou padrão. Para Thomas Kuhn (1998), “os paradigmas são considerados como realizações cientificas reconhecidas, as quais fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência” (KUHN, 1998). Desse modo, o modelo de Kermack e Mckendrick pode ser considerado como um paradigma, pois possibilitou a formulação de outros modelos para o estudo da difusão de epidemias e a estimação de vacinação para erradicar ou estabilizar uma doença infecciosa.

A fim de apresentar uma variação do modelo de Kermack e McKendrick, cita-se o modelo teórico elaborado por Faina Berezovsky e seus colaboradores, no qual descreve a propagação de doenças infecciosas transmissíveis com apenas duas equações (BEREZOVSKY, 2005).

$$\frac{dS}{dt} = vR_d(S+I)\big(1-(S+1)\big) - R_0\frac{SI}{S+I} - vS, \tag{7}$$

$$\frac{dI}{dt} = R_0\frac{SI}{S+I} - I, \tag{8}$$

sendo v a proporção de vida de indivíduos susceptíveis, R_d o número reprodutivo demográfico, R_0 o número de reprodução de doenças, o qual pode determinar se a doença se tornará uma epidemia na população suscetível.

As equações (7) e (8) apresentam o crescimento logístico da população suscetível e descrevem a interação dos indivíduos no mesmo ambiente, incluindo um campo de contatos sociais da população. Desse modo, os seus resultados são uteis para a compreensão do desenvolvimento de epidemias (MING et al., 2011), determinando os fatores chaves para a sua disseminação com objetivo de buscar estratégia de prevenção. Esse sistema possibilita apenas a análise dos infectados, pois não fornece a recuperação dos indivíduos (SOARES, 2010), assim o infectado não consegue pertencer mais ao grupo de suscetíveis.

Em resumo, a modelagem matemática na epidemiologia mostrou-se ser útil para a compreensão do mecanismo de propagação de doenças e no planejamento de estratégias de controle (BARROS, 2007). Além da sua contribuição cientifica no entendimento dos fatores que influenciam as epidemias; há, também, a contribuição tecnológica, na prevenção e estabilização de doenças através de melhorias em saneamento, higiene, uso de vacinas e medicamentos antimicrobianos (BREIMAN, 1996). Outra contribuição da tecnologia é a simulação numérica, a qual é realizada através de um computador com o objetivo de solucionar problemas descritos por modelos matemáticos (HUPPERT; KATRIEL, 2013). Em outras palavras, a simulação numérica permite estudar modelos matemáticos complexos envolvendo equações diferenciais através de métodos numéricos, o que é útil, pois muitas vezes a solução analítica desses sistemas torna-se impossível. Nesse caso utiliza-se métodos numéricos para realizar simulações para a análise e previsões do modelo teórico.

Ao mesmo tempo que foram apresentadas as evoluções dos modelos matemáticos aplicados à epidemiologia, mostrou-se também que a ciência tem sido desafiada ao longo dos séculos (HAIDUCK, 2008) e que ela tem encontrado diversas soluções na determinação de condições e estratégias para a contenção de doenças contagiosas. Ainda nesse contexto, foi evidenciado que as evoluções dos modelos epidemiológicos contribuíram na construção de um paradigma, corroborando as considerações de Thomas Kuhn. Desse modo, apresentou-se um paradigma formado pelos modelos que auxiliaram a solucionar problemas relacionados às grandes epidemias que tiveram grande impacto nas populações.

2.2 Contextualização do enfoque CTS com os modelos matemáticos aplicados à epidemiologia

O enfoque CTS é uma forma de entender a contextualização social dos estudos da ciência, analisando o modo como os fatores sociais podem influenciar nas mudanças cientifico-tecnológica (BAZZO, 2003). Esses fatores podem ser identificados também nas mudanças dos modelos matemáticos, os quais tiveram que evoluir com adição de novas variáveis para atender as necessidades da sociedade na compreensão das epidemias, os quais apresentaram resultados para a estabilização das doenças infecciosas e influenciaram na política da saúde pública com o desenvolvimento de vacinas, como ocorreu com o modelo de Daniel Bernoulli que auxiliou na redução da taxa de mortalidade induzida pela varíola.

Na apresentação dos modelos matemáticos aplicados a epidemiologia sob um viés da ciência, tecnologia e sociedade (CTS), apresentou-se a definição de paradigma definida por Thomas Kuhn em seu livro “A Estrutura das revoluções cientificas” que apresenta conceitos que auxiliam na explicação do desenvolvimento da ciência. Um dos conceitos apresentados por Kuhn é a “ciência normal”, a qual representa pesquisas fundamentadas nas realizações do passado que foram reconhecidas por alguma comunidade cientifica proporcionado os fundamentos para a sua prática posterior (KUHN, 1998). Diante desse contexto, as evoluções dos modelos matemáticos possibilitaram o diálogo entre as teorias permitindo a construção de novos modelos, os quais propiciaram a formação de um paradigma através do modelo de Kermack e McKendrick que serviu como uma base para várias elaborações (HUPPERT; KATRIEL, 2013), uma dessas elaborações é o modelo teórico de Berezovski descrito pelas Equações (7) e (8).

Além do modelo de Berezovski, outros modelos matemáticos foram elaborados a partir do estudo de Kermack e McKendrick, pode-se citar o modelo teórico para estudar a transmissão da dengue, o qual foi apresentado no artigo de Santos e Thibes (2014) intitulado como “Simulações Numéricas de um Modelo de Transmissão da Dengue em Microrregiões do Sudoeste da Bahia (Brasil)”. Nesse artigo, os autores destacam que a dengue é considerada um dos grandes problemas da saúde pública. Diante desse contexto, foi apresentado simulações numéricas com parâmetros ajustados á microrregião do sudoeste da Bahia entre os anos de 2008 e 2012, as quais foram comparados com os dados reais relacionados com a quantidade de pessoas infectadas pelo mosquito transmissor da Dengue (SANTOS; THIBES, 2014). Desse modo, os modelos matemáticos podem contribuir para o planejamento e assegurar o sucesso de desenvolvimento de programas de vacinação (NEPOMUCENO, 2005), juntamente com as investigações realizadas pelos órgãos governamentais que emitem os boletins epidemiológicos, cujo objetivo é monitorar novos casos de doenças infecciosas.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, buscou-se apresentar modelos matemáticos aplicados à epidemiologia sob um viés da Ciência, Tecnologia e Sociedade, os quais auxiliaram na compreensão do comportamento da propagação de doenças que afetaram a sociedade, reduzindo as taxas de mortalidade induzidas pelas epidemias. Estas que também causaram prejuízos econômicos e sociais como por exemplo, a Grande Peste que devastou Londres em 1655, resultando na mortalidade de 20% da sua população e no fechamento de estabelecimentos comerciais (BARROS, 2007).

A fim de compreender melhor o contexto e importância dos estudos em epidemiologia, inicialmente apresentou-se as contribuições desta área para a saúde como por exemplo, os movimentos sociais da França que buscaram o saneamento e o início do monitoramento de doenças na Alemanha com a proposta de Johann Peter Franck. Por fim, destacou-se a descoberta dos agentes causadores das doenças, a qual trouxe uma grande contribuição no estudo das epidemias com a elaboração da Teoria Microbiana tornando a Teoria Miasmática obsoleta.

Além das contribuições de alguns movimentos sociais, a epidemiologia necessitou, também, do subsídio dos modelos matemáticos para descrever o processo de transmissão através de variáveis que representam a população. A partir da descrição das evoluções desses modelos teóricos, os quais atenderam a necessidade da sociedade da época para a estabilização das doenças, apresentou-se a criação de um paradigma originada pelo modelo teórico de Kermack e McKendrick, o qual serviu como uma teoria padrão para a modelagem de outras doenças.

A abordagem da CTS nos modelos teóricos possibilita visualizar a influência da ciência e da tecnologia no âmbito social. Diante desse contexto, apresentou-se no início desse artigo o modelo matemático de Daniel Bernoulli, o qual conseguiu influenciar a política da saúde pública para o desenvolvimento de vacina para a varíola, através da inoculação do vírus. Desse modo, percebe-se que os modelos matemáticos epidemiológicos com seus resultados obtidos nas simulações, podem nortear as ações promovidas pelos órgãos governamentais para a prevenção e controle de doenças infecciosas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. **Modelação Matemática de Epidemias,** 2015. Disponível em: < https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/12815/1/Ana%20Catarina%20Carneiro%20Ara%C3%BAjo.pdf >. Acesso em: 15 out. 2017, 14:10:00.

BACAER, N. A Short History of Mathematical Population Dynamics, 2011. Disponível em: < https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-115-8_12>. Acesso em: 05 set. 2017.

BARROS, A. Modelos Matemáticos de Equações diferenciais ordinárias Aplicados à Epidemiologia, 2007. Disponível em: < http://pgsskroton.com.br/seer/index.php/rcext/article/viewFile/2382/2286>. Acesso em: 16 out. 2017.

BARROS, H. Epidemiologia Clínica: História e Fundamentos para a sua compreensão. **Revista Portuguesa de Cirurgia,** n.24, 2013. Disponível em: < http://www.scielo.mec.pt/pdf/rpc/n24/n24a09.pdf >. Acesso em: 10 nov. 2017.

BAZZO, W . A. et al. Introdução aos estudos CTS: O que é Ciência, Tecnologia e Sociedade? Cadernos de Ibero-América, Editora OEI, 2003. Disponível em: www.oei.es/historico/salactsi/Livro_CTS_OEI.pdf. Acesso em: 18 Mar. 2017.

BEREZOVSKY, F. et al. Simple epidemic model witch surprising dynamics. **Mathematical Biosciences and Engineering**, v. 2, 2005. Disponível em: <http://www.aimsciences.org/journals/pdfs.jsp?paperID=1066&mode=full>. Acesso em: 22 out. 2017.

BREIMAN, R. Impact of Technology on the Emergence of Infectious Diseases. **Epidemiologic Reviews**, v. 18, 1996. Disponível em: < https://academic.oup.com/epirev/article/18/1/4/447183/Impact-of-Technology-on-the-Emergence-of >. Acesso em: 22 out. 2017.

CERDA, L; VALDIVIA, C. John Snow, La Epidemia de cólera y el nacimiento de la epidemiología moderna. **Revista Chilena de Infectologia**, v. 24, n.4, 2007. Disponível em: < http://www.scielo.cl/pdf/rci/v24n4/art14.pdf >. Acesso em: 11 nov. 2017.

FILHO, N. Bases Históricas da Epidemiologia. **Cadernos da Saúde Pública,** v.2, n.3, Rio de Janeiro, 1985. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/csp/v2n3/v2n3a04.pdf >.Acesso em: 11 nov. 2017.

GIACOMELLI, G; GIACOMELLI, R. Science, Technology and Society: What can be done to make science more appealing and easier to understand, 2004. Disponível em: < https://arxiv.org/ftp/physics/papers/0507/0507092.pdf >. Acesso em 07 out. 2017.

HAIDUCK, M. **Estudo Analítico e Numérico de Modelos Epidemiológicos Clássicos do Tipo S.I, S.P.R e S.I.S,** 2008. Disponível em: < http://www.uri.com.br/cursos/arq_trabalhos_usuario/838.pdf >. Acesso em: 14 out. 2017, 00:01:00.

HEGENBERG, L. Evolução Histórica do Conceito das Doenças. Disponível em: < http://books.scielo.org/id/pdj2h/pdf/hegenberg-9788575412589-03.pdf >. Acesso em: 14 out. 2017.

HUPPERT, A; KATRIEL, G. Mathematical modelling and prediction in infectious disease epidemiology. **Clinical Microbiology and Infection**, v.19, 2013. Disponível em: < https://ac.els-cdn.com/S1198743X14630019/1-s2.0-S1198743X14630019-main.pdf?_tid=68630d06-b785-11e7-8095-00000aab0f6b&acdnat=1508717106_53811110115dc4b04169aca6b028b1a5>. Acesso em: 22 out.2017.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Cientificas.** Editora Perspectiva, São Paulo, 1998.

MING, W. et al. Turing pattern selection in a reaction diffusion epidemic model. **Chinese Physics. B.** v.20, 2011.Disponível em: <http://cpb.iphy.ac.cn/fileup/PDF/2011-074702-45.pdf >. Acesso: 04 set. 2017.

MONTEIRO, L. ***Sistemas Dinâmicos***. 3ª edição. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MURRAY, J. D. ***Mathematical Biology I: An Introduction***. 2001. Disponível em:<http://www.ift.unesp.br/users/mmenezes/mathbio.pdf>. Acesso em: 16 out.2017.

NEPOMUCENO, E. **Dinâmica, Modelagem e Controle de Epidemias**, 2005. Disponível em: < https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/534D.PDF >. Acesso em: 23 out. 2017, 21:40:00.

PEREIRA, C; VEIGA, N. A Epidemiologia. De Hipocrates ao Século XXI. **Millenium.** n.47, p.129-140, 2014. Disponível em: <http://revistas.rcaap.pt/millenium/article/view/8114/5712>. Acesso: 15 out. 2017.

TAKIGUTI, C. et al. Uma abordagem ao estudo de epidemias de moléstias contagiosas: modelo conceitual baseado nas escalas espaciais e funcionais da propagação epidêmica. **Revista de saúde pública**. São Paulo, v.20, 1986. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-89101986000300007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 04 set. 2017.

ROCHA, D. **Modelos Matemáticos Aplicados à Epidemiologia**, 2012. Disponível em: < https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/63680/2/ModelosMatematicosAplicadosaepidemiologia100485006DianaRochaMQEG.pdf>. Acesso em: 13 out. 2017, 23:50:00

SANTOS, B. **Estudo Qualitativo de um Modelo de Propagação de Dengue,** 2016. Disponível em: < http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45132/tde-31082016-185838/pt-br.php>. Acesso em: 14 out. 2017, 14:35:00.

SANTOS, D; THIBES, R. Simulações Numéricas de um Modelo deTransmissão de Dengue em Microrregiões do Sudoeste da Bahia (Brasil). **TEMA-Tendências em Matemática Aplicada e Computacional,** São Carlos, v. 15, n. 3, 2014. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/tema/v15n3/a03v15n3.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2017.

SOARES, A. Modelagem Alternativa para Sistemas Epidemiolígicos, 2010. Disponível em: < http://posmat.ufabc.edu.br/teses/MAT-2010%20-%20Anna%20Ligia%20Oenning%20Soares.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2017, 00:34:00.

SODRÉ, U. Modelos Matemáticos. Londrina, jun. 2007. Disponível em: <http://www.uel.br/projetos/matessencial/superior/pdfs/modelos.pdf>. Acesso em: 08 out. 2017.

SOUZA, A; BISOGNIN, V. Modelo Matemático da Evolução da Síndrome da Imunodeficiência Humana Adquirida – AIDS em Santa Maria. **Disciplinarum Scientia.** Santa Maria, v.15, n. 1, p.29-37, 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.unifra.br/index.php/disciplinarumNT/article/viewFile/1338/1270 >. Acesso em: 22 out. 2017.

VAZ, C. et al. O surgimento da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) na educação: uma revisão. 2009. Disponível em: http://www.sinect.com.br/anais2009/artigos/1%20CTS/CTS_Artigo8.pdf. Acesso em: 27 Mar. 2017.

WOLF, E. The impact of physics on society and the mission of physics education in secondary schools. 2003. Disponível em: http://www.europhysicsnews.org/articles/epn/pdf/2003/03/epn03305.pdf. Acesso em: 28 Mar. 2017.

Edição especial - Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade do IFPR

Editor – Mateus das Neves Gomes