

Um Modelo Baseado no Indivíduo para Estudo da Transmissão da Anemia Infecciosa Equina por Mutuca no Pantanal Brasileiro

Sônia Ternes¹, Raphael Vilamiu¹, Edgard Henrique dos Santos¹, Natalia Siqueira²

¹Embrapa Informática Agropecuária
Caixa Postal 6041 – 13.083-886 – Campinas – SP – Brasil

²Departamento de Matemática Aplicada
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) – Campinas, SP - Brasil
{sonia.ternes,edgard.santos}@embrapa.br, vilamiu@gmail.com,
natalia.de.siqueira@hotmail.com

Abstract. *Equine Infectious Anemia (EIA) is a disease caused by a retrovirus and it is transmitted by hematophagous insect known as horsefly. In recent decades it has been observed a prevalence of 50% in service animals in the Brazilian Pantanal. This paper presents an individual based model to analyze the transmission dynamics of the IEA by horseflies in the Pantanal. Considering a 40-year period of simulation, the results show that the horsefly can not be solely responsible for the high prevalence of the disease in the region, requiring more detailed studies of the management practices that has been used.*

Resumo. *A Anemia Infecciosa Equina (AIE) é uma doença causada por um retrovírus e transmitida pelo inseto hematófago conhecido como mutuca (tabanídeo), sendo observada nas últimas décadas a prevalência de 50% entre os animais de serviço no Pantanal brasileiro. Este trabalho apresenta um modelo baseado no indivíduo para analisar a dinâmica de transmissão da AIE pela mutuca no Pantanal. Considerando um período de 40 anos de simulação, os resultados mostram que a mutuca não pode ser responsável sozinho pela alta prevalência da doença na região, sendo necessário estudos mais detalhados das práticas de manejo usadas.*

1. Introdução

A Anemia Infecciosa Equina (AIE) é uma doença incurável e de grande prevalência no Pantanal Brasileiro, acometendo mais de 50% dos animais de serviço [Silva et. al., 2004]. Ela é causada por um vírus pertencente ao gênero do vírus da AIDS (Lentivirus, família Retroviridae), a qual infecta membros da família Equidae. Para a maioria das regiões brasileiras o controle preconizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é o sacrifício dos animais ou intervenção das propriedades, no caso de ser detectado um foco da AIE [Silva et. al., 2004]. Porém, em áreas endêmicas como o Pantanal, é permitido o isolamento dos animais soropositivos, pois seu sacrifício traria grande prejuízo à pecuária extensiva da região.

No Brasil, a AIE foi constatada pela primeira vez em 1968 nos Estados do Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro. No Pantanal, a doença teria chegado em 1974 [Silva et al., 2001]. A principal forma de transmissão é a horizontal, por meio de insetos hematófagos e utensílios contaminados (agulhas, freios, esporas e outros). Por desinformação, em muitas ocasiões o homem torna-se um dos principais componentes na cadeia de transmissão desse vírus, em função do manejo inadequado dos animais. Sem a participação do homem, as mutucas (tabanídeos da espécie *T. importunus*) desempenham o papel mais importante na cadeia natural da doença, atuando como vetores.

Os modelos baseados em indivíduos (MBI) tem sido usados para analisar processos ecológicos [Giacomini, 2007], pois são adequados para a modelagem de populações heterogêneas, em contraposição aos modelos determinísticos clássicos. A ideia principal de um MBI é tratar o indivíduo como uma unidade básica, autônoma, e discreta, que toma decisões que podem interferir no ambiente. A população é o nome dado ao conjunto de entidades discretas (indivíduos) da qual é composta. A ênfase do MBI está na interação entre os indivíduos, cujas características evoluem estocasticamente no tempo.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo baseado no indivíduo para representar a dinâmica temporal da transmissão da AIE por seu inseto vetor, entre animais de serviço no Pantanal brasileiro, ao longo das últimas 4 décadas. Para tal, tomou-se como base os valores dos parâmetros biológicos usados no modelo determinístico desenvolvido por Marques et al (2012) e revisto por Vilamiu et al. (2013).

2. Modelo Baseado no Indivíduo

O modelo baseado em indivíduos foi formulado utilizando premissas epidemiológicas correspondentes ao trabalho de Marques et al (2012), considerando a metodologia apresentada em Nepomuceno (2005). As premissas são dadas por:

- Características dos indivíduos: cada indivíduo é dada por um conjunto de características: idade, expectativa de vida, estado da doença (suscetível ou infectado);
- População constante de equinos e mutucas: sempre que um indivíduo morre, um outro “nasce” com idade zero e estado suscetível;
- Mudança de estado: uma vez em um estado, um indivíduo pode mudar o estado da doença em cada instante de tempo; de acordo com determinadas probabilidades;
- Distribuição de probabilidade: adotou-se a distribuição exponencial para a expectativa de vida da população de equinos, expressa por $f(x) = \mu e^{-\mu x}$, onde $1/\mu$ é a idade média de mortalidade dos equinos;
- Processo de infecção: mutucas tornam-se infectivas (estado = I) quando se alimentam do sangue de um animal infectado. Como trata-se de um processo mecânico, considera-se que as mutucas tornam-se infectivas após se alimentarem do sangue do animal infectado, com probabilidade igual a 1.

Apesar da literatura indicar que as mutucas perdem a infectividade num período de até 4 horas [Barros e Foil, 2009], considera-se no MBI que após tornarem-se infectivas, as mutucas sempre picam um animal (escolhido aleatoriamente) antes de voltarem a ser não infectivas (estado = S). Os equinos tornam-se infectados (estado = I) após serem picados por mutucas infectivas, seguindo um processo estocástico com probabilidade igual a $1,4 \times 10^{-6}$ *;

- Aspecto espacial: supõe-se as mutucas distribuídas de maneira uniforme em cima dos cavalos e estes posicionados de maneira aleatória, de forma que a mutuca pode picar qualquer um dos cavalos do grupo, quando tem seu repasto de 14 dias finalizado (considera-se 4 ciclos ao longo da vida da mutuca) [Barros et al., 2003].

3. Simulações

O MBI proposto foi implementado usando recursos de programação do software Matlab. Para o início das simulações considerou-se uma população de 100 cavalos, 100 mutucas por cavalo, 90% de equinos infectados, 100% de mutucas não infectivas e mortalidade média de equinos igual a 12 anos [Marques et al., 2012].

A Figura 1 apresenta o fluxograma do MBI. A população inicial de cavalos tem a sua expectativa de vida determinada de modo aleatório. Em cada instante de tempo cada mutuca é considerada e verifica-se por meio de processos estocásticos se a infecção dos cavalos ocorrerá ou não. A cada 14 dias a mutuca troca de animal, escolhido aleatoriamente, e o processo de infecção é exercitado estocasticamente. Após todas as mutucas serem avaliadas, o tempo de simulação é incrementado até que o tempo final seja atingido.

4. Resultados e Conclusões

A Figura 2a apresenta o resultado de uma realização da simulação. Na Figura 2b são apresentados os resultados de 10 realizações do algoritmo, onde pode-se observar as variações decorrentes dos processos estocásticos envolvidos no MBI. A Figura 3 apresenta a média da realização de 100 simulações, utilizando-se o método de Monte Carlo [Aiello e da Silva, 2003; Martinez e Martinez, 2002], onde observa-se a média e o desvio padrão das 100 simulações realizadas.

Observando as figuras verifica-se que a prevalência da doença cai drasticamente no período observado, chegando a um equilíbrio local em torno de 3 a 4%. Esses valores são os mesmos obtidos no modelo dinâmico desenvolvido por Marques et al. (2012), e são também próximos aos valores observados por Silva et al. (2001), com base em experimentos a campo com a participação de animais chucros (que não estão sob a ação de qualquer tipo de manejo). Portanto, pode-se concluir que a mutuca não pode ser responsável sozinha pela alta prevalência da AIE observada nas últimas décadas no Pantanal brasileiro.

Assim, torna-se necessária a análise detalhada das formas de manejo dos

* A probabilidade de infecção por picada da mutuca foi calculada analogamente ao realizado por Bobashev e Zule (2010) para seringas de espaço residual pequeno, utilizando-se o volume do aparelho bucal da mutuca calculado por Foil (1989).

animais, de modo a observar as práticas que podem contribuir na dinâmica de infecção da AIE como, por exemplo, o reuso de seringas para aplicação de medicamentos nos animais.

O MBI aqui desenvolvido está sendo aperfeiçoado e implementado usando-se a plataforma TerraME desenvolvida pelo INPE [Carneiro e Camara, 2007], de modo que outros aspectos determinantes para a dinâmica da doença como, por exemplo, a distância entre os animais, possam ser explorados mais adequadamente num modelo espaço-temporal.

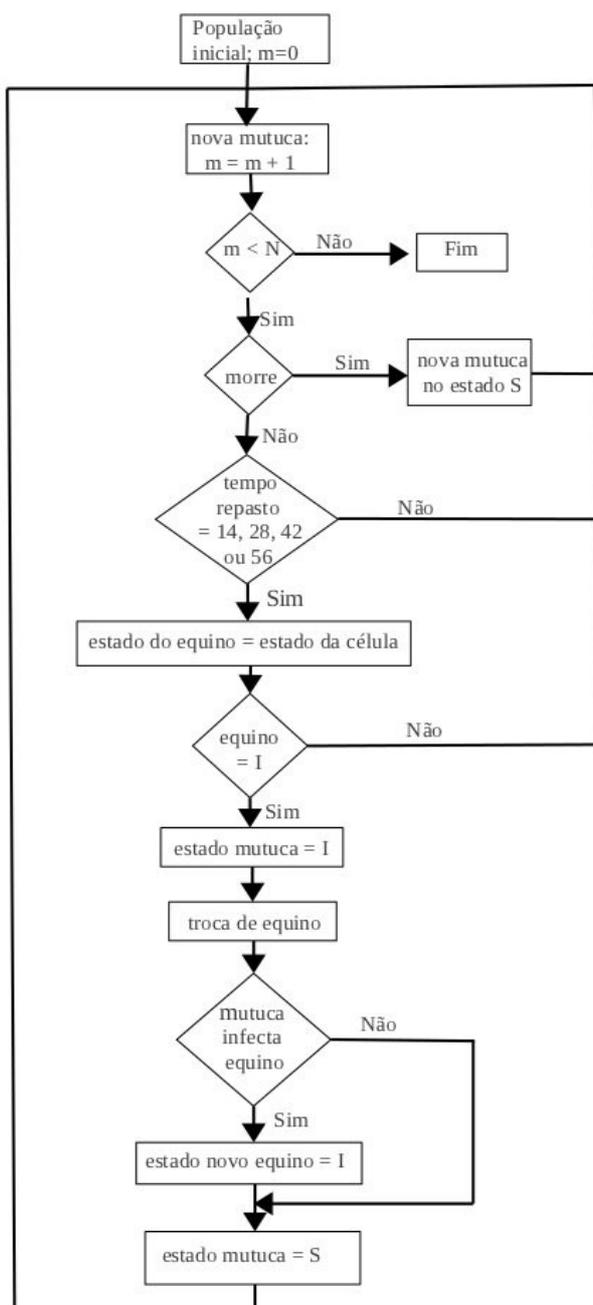


Figura 1. Fluxograma do MBI.

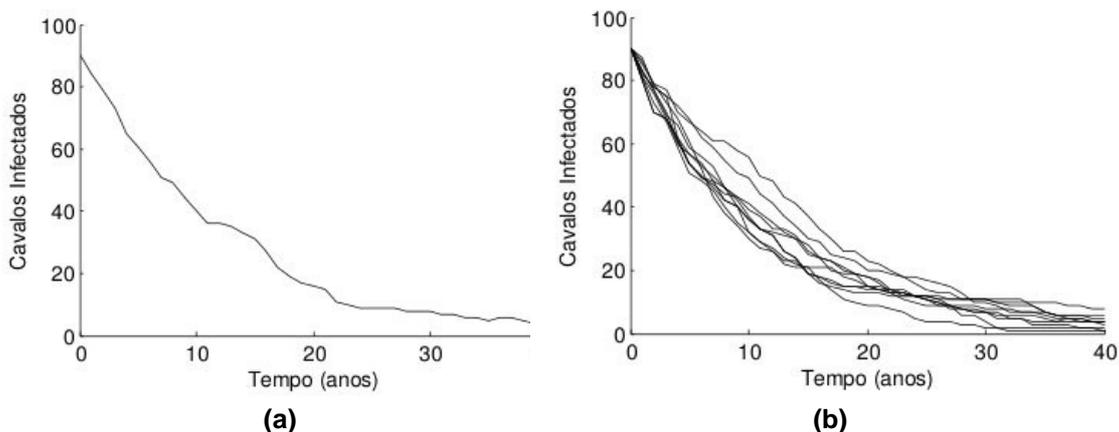


Figura 2. Simulação do MBI. Parâmetros utilizados em cada simulação: número total de cavalos = 100; número total de mutucas = 1.000; proporção inicial de cavalos infectados = 0,9; idade média de mortalidade dos cavalos = 12 anos; probabilidade de transmissão da AIE para o cavalo = $1,4 \times 10^{-6}$. (a) uma única realização da simulação; (b) resultado de 10 realizações, onde observa-se as variações decorrentes do processo estocástico relacionado à expectativa de vida de cada indivíduo (função $f(x)$).

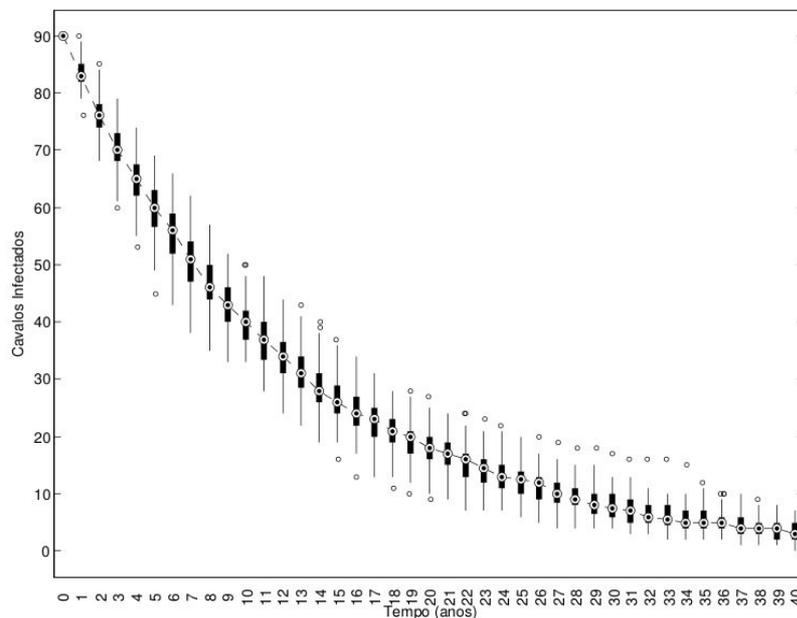


Figura 3. Simulação de Monte Carlo. Boxplot (medianas, quartis e *outliers*) correspondente a 100 realizações do MBI.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte a este trabalho por meio da concessão das bolsas PIBIC (Proc. 800193/2012-1) e de pós-doutorado (Proc. 560461/2010-0), e à Fapesp pelo suporte financeiro (Proc. 2009/15098-0).

Referências

- Aiello, O. E.; da Silva, M. A. A. (2003) “New Approach to Dynamical Monte Carlo Methods: Application to an Epidemic Model”. *Physica A-Statistical Mechanics and its Applications*, 327(3–4):525–534.
- Barros, A.T.M.; Foil, L.D; Vasquez, S.A.S. (2003) “Mutucas (Diptera: Tabanidae) do Pantanal: Abundância Relativa e Sazonalidade na Subregião da Nhecolândia”. 18p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 48).
- Barros, A.T.M.; Foil, L.D. (2009) “Influência da Distância na Transferência de Tabanídeos (Mutucas) entre Equinos”. Corumbá: Embrapa Pantanal. 14p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 92).
- Bobashev, G.V.; Zule, W.A. (2010) “Modeling the Effect of High Dead-Space Syringes on the Human Immunodeficiency Virus (HIV) Epidemic Among Injecting Drug Users”. *Addiction*, 105, 1439–1447
- Carneiro, T.; Camara, G. (2007) “A Gentle Introduction to TerraME”. Technical report, Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), São José dos Campos, Brasil.
- Foil,L.D. (1989) “Tabanids as vectors of disease agents”. *Parasitology Today* , 5(3):88-96.
- Giacomini, H.C. (2007) “Sete Motivações Teóricas para o Uso da Modelagem Baseada no Indivíduo em Ecologia”. *Acta Amazonica*, 37(3), 431-446.
- Marques, A.P.D.; Ternes, S.; Vilamiu, R.G.d'A.; Nogueira, M.F. (2012) “Mathematical Epidemiology of Equine Infectious Anemia (EIA)” In: Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology; International Symposium on Mathematical and Computational Biology, 12., Tempe, Arizona, USA, November 6-10 -2012. Abstracts... BIOMAT 2012.
- Martinez, W. L.; Martinez, A. R. (2002) “Computational Statistics Handbook with MATLAB”. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC.
- Nepomuceno, E.G. (2005) “Dinâmica, Modelagem e Controle de Epidemias”. UFMG. Tese de Doutorado. <http://www.cpdee.ufmg.br/defesas/534D.PDF> , Junho 2013.
- Silva, R.A.M.S.; Abreu, U.G.P.; Barros, A.T.M. (2001) “Anemia Infecciosa Equina: Epizootiologia, Prevenção e Controle no Pantanal”. Corumbá: Embrapa Pantanal. 30p. (Embrapa Pantanal. Circular Técnica, 29).
- Silva, R.A.M.S.; Barros, A.T.M.; Costa Neto, A.M.; Lopes, N.; Cortada, V.M.C.; Matsuura, T.M.S.M.; Feldens, O.; Mori, A.E.; Santos, J.M.S.A.A.P.; Bandini, O. (2004) “Programa de Prevenção e Controle da Anemia Infecciosa Equina no Pantanal Sul-Mato-Grossense”. Corumbá: Embrapa Pantanal. 17p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 68).
- Vilamiu, R.G.d'A.; Ternes, S.; Marques, A.P.D.; Nogueira, M.F. (2013) “The role of horseflies in the prevalence of Equine Infectious Anemia (EIA) in the Brazilian Pantanal”. Annual International Conference on Mathematical Methods and Models in Biosciences. Biomath 2013. Sofia, Bulgaria, 16-21 June, 2013. Abstracts...