Modelagem Computacional Sobre a Expansão Epidemiológica da Esquistossomose

Anderson Paulo da Silva, Jefferson Cavalcanti Costa Pereira, Marcos Antonio Correia, Jones O. de Albuquerque, Silvana Bocanegra.
Departamento de Estatística e Informática, UFRPE 52171-900, Rua Dom Manuel de Medeiros S/N, Recife – PE
E-mail: anderson@xiscanoe.org, jeffpascal@gmail.com, falecommarcos@gmail.com, joa@deinfo.ufrpe.br, silvana@deinfo.ufrpe.br

Marco Antônio A. de Souza, Constança S. Barbosa
Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz. Departamento de Parasitologia.
Avenida Moraes Rego, s/n, cx. Postal 7472, Cidade Universitária, CEP: 59670-420, Recife, PE.
maandrades@cpqam.fiocruz.br; cbarbosa@cpqam.fiocruz.br.

Resumo: Neste artigo é descrito uma simulação epidemiológica da esquistossomose, doença que causa grandes problemas e possui surtos endêmicos em várias regiões do Brasil. A simulação decorre em um espaço bidimensional discreto onde se encontram definidas um conjunto inicial de características cujas alterações no decorrer da simulação são modeladas através de conceitos sobre autômatos celulares. O conjunto de características do ambiente e dos estados da vizinhança infectada são os principais fatores que determinam o comportamento das próximas gerações e conseqüentemente a definição e classificação das endemias. Este trabalho apresenta os resultados de um autômato celular (CA) com base em um modelo epidemiológico. Torna-se interessante a forma como um CA pode produzir padrões de propagação dependente de condições ambientais, simulando de uma forma mais efetiva e convincente.
O modelo descrito aqui, apesar de fictício, produz padrões de comportamentos que imita o que nós observamos na natureza. Isso leva a possibilidade de usar CA à base de simulações para melhorar a nossa compreensão, análise, previsão, e de possível contenção da propagação da epidemia.

Palavras Chaves: Moluscos, Cercárias, Epidemia, Esquistossomose, Autômato Celular, Simulação, Mathematica.

1 Introdução

Os problemas de saúde pública geram prejuízos e preocupações cada vez mais alarmantes. Problemas que se transformam em endemias ou epidemias trazem consigo toda uma gama de dificuldades para as autoridades públicas. Dificuldades estas que, se não administradas corretamente, trarão para a população o desconforto e mal estar social.

Neste sentido, visa-se aqui, a apresentação dos resultados de pesquisas sobre a aplicação de autômatos celulares (CA) com base em um modelo epidemiológico voltado para modelagem de uma epidemia de Esquistossomose, doença, popularmente conhecida como Barriga-d'água, que assola várias regiões brasileiras. Vale ressaltar o quão interessante é a forma como um CA pode produzir padrões de propagação dependente de condições ambientais, pois, através do mesmo, o modelo descrito aqui, apesar de fictício, produz padrões de comportamentos que imitam o que pode ser observado na natureza. Assim, há a possibilidade de usar CA à base de simulações para melhorar a nossa compreensão, análise, previsão, e a possível contenção da propagação da epidemia em qualquer região onde seja possível a coleta dos dados necessários para o uso deste.

1.1 Definições

1.1.1 Endemia

A própria etimologia da palavra *endemia* denota este atributo. *Endemos*, em grego clássico, significa "originário de um país, indígena", "referente a um país", "encontrado entre os habitantes de um mesmo país". [1] Ou ainda como uma "doença habitualmente comum entre pessoas de uma região, cuja incidência se prende à ocorrência de determinados fatores locais". [2]

Portanto, podemos dizer, em termos gerais, que endemia é qualquer fator mórbido ou doença espacialmente localizada, temporalmente ilimitada, habitualmente presente entre os membros de uma população e cujo nível de incidência se situe sistematicamente nos limites de uma faixa endêmica que foi previamente convencionada para uma população e época determinadas. Difere da epidemia por ser de caráter mais contínuo e restrito a uma determinada área. Assim, por exemplo, no Brasil, existem áreas endêmicas de febre amarela na Amazônia, áreas endêmicas de dengue, áreas endêmicas de esquistossomose, etc. Em Portugal, a hepatite A pode ser considerada como endemia, já que existem, constantemente, novos casos.

Por vezes, uma endemia pode evoluir para uma epidemia, existindo, nesse caso, uma doença endemo-epidêmica. Esta oposição entre endemia e epidemia, entretanto, tem sido esbatida com os novos conhecimentos adquiridos quanto aos fatores ecológicos que condicionam o desenvolvimento de uma doença. O termo "endêmico" passou a referir-se, de forma mais ajustada, ao grau de prevalência de uma doença, ou seja à proporção entre o número total de casos da doença e o número de indivíduos em risco de a adquirir, numa área geográfica e temporalmente bem definida.

1.1.2 Epidemia e Epidemiologia

Epidemia é o desenvolvimento de uma moléstia infecciosa que afeta, durante um período determinado e em certo território, um grande número de pessoas. [3]

Assim podemos dizer que a epidemia se caracteriza por uma doença geralmente infecciosa, de caráter transitório, que ataca simultaneamente grande número de indivíduos em uma determinada localidade, podendo ser também surto periódico de uma doença infecciosa em dada população ou região.

Por sua vez a epidemiologia é o estudo dos fatores que determinam o surgimento, a freqüência, a distribuição e a evolução das doenças, assim como das medidas de controle, erradicação e prevenção destas. [3]

1.1.3 Pandemia

É uma epidemia (uma erupção de uma doença infecciosa) que pode se alastrar por uma região extensa, como uma cidade, país, ou continente, ou até mesmo pelo mundo.[3] Assim, podemos citar como exemplos de pandemia, a peste negra, a gripe asiática, a gripe espanhola, e outras doenças que já surgiram de forma Pandêmica na história.

1.2 Um breve histórico sobre epidemia

O termo epidemia tem origem no grego clássico: *epi* (sobre) + *demos* (povo) e sabe-se ter sido utilizado por Hipócrates no século VI a.C..

A ocorrência, numa comunidade ou região, de casos de doença, acidente, malformação congênita, comportamento especificamente relacionado com a saúde ou outros acontecimentos relacionados com a saúde que ocorre em um determinado momento e espaço, é um fato até aqui normal, já que interagimos com o ambiente e outras formas de vida. Um surto epidêmico ocorre quando há um grande desequilíbrio com o agente (ou surgimento de um), sendo este posto em vantagem. Este desequilíbrio é comum quando uma nova estirpe do organismo aparece (mutação) ou quando o hospedeiro é exposto pela primeira vez ao agente.

John Graunt (séc. XVII), fundador da bioestatística afirmou que era possível quantificar os padrões da

natalidade, mortalidade e existência de doenças identificando 03 aspectos:

-Existência de diferenças entre os sexos e na distribuição rural;

-Elevada Mortalidade infantil;

-Variações sazonais.

Hoje a epidemiologia constitui importante instrumento para a pesquisa na área de saúde, seja no campo da clínica, seja na saúde pública.

2 Esquistossomose

2.1 Definição

Segundo Drauzio Varella:

> *Esquistossomose é uma doença causada pelo verme Schistosoma mansoni, parasita que tem no homem seu hospedeiro definitivo, mas que necessita de caramujos de água doce como hospedeiros intermediários para desenvolver seu ciclo evolutivo.*
> *A transmissão desse parasita se dá pela liberação de seus ovos através das fezes do homem infectado. Em contato com a água, os ovos eclodem e libertam larvas (Mirácideos) que morrem se não encontrarem os caramujos para se alojar. Se os encontram, porém, dão continuidade ao ciclo e liberam novas larvas (Cercarias) que infectam as águas e posteriormente os homens penetrando em sua pele ou mucosas.*[4]

Como já fora explicitado na definição anterior, esta doença é transmitida pelo Schistosoma mansoni. Um verme da família dos Helmintos que tem como hospedeiro definitivo o homem. A figura 1 mostra a extremidade anterior do Schistosoma mansoni macho.

Figura 1 - Extremidade anterior do Schistosoma mansoni macho

2.2 O ciclo da Doença

Para que a doença aqui discutida venha a se alastrar e desenvolver em uma determinada região, se faz necessário que o ciclo evolutivo da doença esteja fechado, ou seja, é preciso que todos os fatores determinantes do ciclo da doença estejam presentes. Justamente por isso, a esquistossomose é vista como fator indicativo de pobreza, uma vez que a mesma é comum em localidades onde vivem pessoas de baixa renda, locais estes que são propícios para o surgimento dos principais fatores determinantes para o fechamento do ciclo da doença. Este ciclo pode ser observado na figura 2.

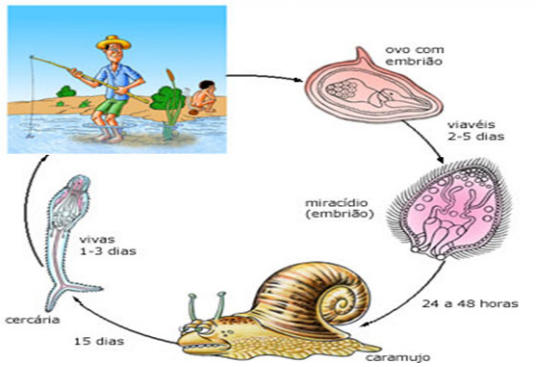

Figura 2 - O ciclo da Esquistossomose

O ciclo da esquistossomose começa quando as fezes contaminadas entram em contato com a água (em geral, de lagos ou córregos). Os ovos germinam e liberam uma larva do Schistosoma mansoni conhecida como miracídio. A figura 3 mostra a imagem desta forma larval.

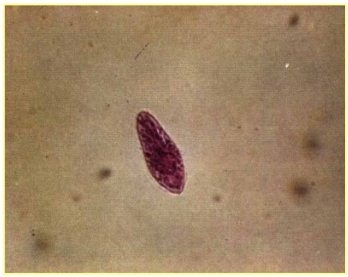

Figura 3 - Miracídio

Uma vez na água, o miracídio procura pelo hospedeiro intermediário (caramujo do gênero Biomphalaria) e penetra no mesmo, onde se multiplica e se transforma em outro tipo de larva, a cercária. A imagem da cercária pode ser vista na figura 4.

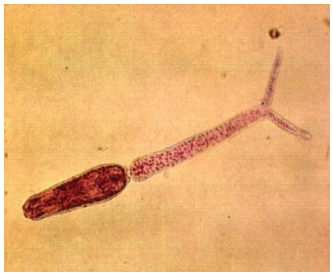

Figura 4 - Cercária

Em seguida, o caramujo libera as cercárias na água e elas nadam em busca do hospedeiro definitivo, o homem. A cercária penetra no corpo humano de forma cutânea, ou seja, através da pele. Quando penetra o corpo humano, a cercária migra para a corrente sanguínea ou linfática. As larvas se alimentam de sangue, crescem, acasalam e as fêmeas começam a liberar ovos no organismo do hospedeiro. [5]

Assim, podemos dizer que existem quatro fatores determinantes para o ciclo da doença:

1 – Pessoas infectadas que evacuam em locais não apropriados;
2 – Ausência de tratamento de esgotos;
3 – Lagos, córregos, rios, etc.
4 – Presença de caramujos.

2.3 Como prevenir a doença?

A principal forma de prevenção se dá através da higiene. Uma vez que o ciclo da doença venha a ser quebrado, não há a possibilidade da permanência da doença na região. Com o correto saneamento básico, as fezes humanas não mais são transmitidas as águas onde os ovos do verme possam eclodir e disseminar suas larvas. Para que tal objetivo seja alcançado, é necessária a conscientização de todos os habitantes de uma determinada área endêmica e ações por parte das autoridades desta região.

3 O modelo de simulação baseado em autômatos celulares e seus elementos

Para atingir a meta deste trabalho, ou seja, criar um modelo epidemiológico que simule a expansão da esquistossomose foram utilizadas ferramentas computacionais e estudos desta área da ciência.

Todos estes recursos visam o desenvolvimento de um modelo que simule de forma clara e objetiva a expansão da doença.

Entre os recursos utilizados estão:

- Autômatos Celulares (CA);
- Ferramentas para modelagem.

3.1 Autômatos Celulares

"Um autômato celular é um modelo discreto estudado na teoria da computabilidade, matemática, e biologia teórica. Consiste de uma grelha infinita e regular de células, cada uma podendo estar em um número finito de estados, que variam de acordo com regras determinísticas. A grelha pode ser em qualquer número finito de dimensões. O tempo também é discreto, e o estado de uma célula no tempo t é uma função do estado no tempo t-1 de um número finito de células na sua vizinhança. Essa vizinhança corresponde a uma determinada seleção de células próximas (podendo eventualmente incluir a própria célula). Todas as células evoluem segundo a mesma regra para atualização, baseada nos valores das suas células vizinhas. Cada vez que as regras são aplicadas à grelha completa, uma nova geração é produzida.

Os autômatos celulares foram introduzidos por von Neumann e Ulam como modelos para estudar processos de crescimento e auto-reprodução. Qualquer sistema com muitos elementos idênticos que interagem local e deterministicamente podem ser modelados usando autômatos celulares."[6,7]

3.2 O modelo Epidemiológico

Um modelo representa um Mundo, ou seja, uma realidade.

O modelo aqui apresentado simula um mundo da seguinte forma:

Mundo - referencia um espaço geográfico. Assim, este espaço geográfico pode ser qualificado como um estado, uma cidade, ou até mesmo um pequeno vilarejo.

Células – neste trabalho, o mundo faz referência uma área fictícia de 30.000 m² e é formado por uma matriz de células, onde cada uma destas é uma localidade menor do mundo, ou seja, uma fração deste. Pode referenciar uma rua, uma casa, um sítio ou até mesmo um pequeno cômodo de poucos metros quadrados.

No caso deste trabalho a célula fará referência a uma região do tamanho de uma pequena residência.

3.3 Mundo e Célula

Uma vez definidos o nosso mundo e a nossa célula, podemos dizer que o mundo é formado por um conjunto de células. Neste caso o mundo é constituído matematicamente por uma matriz de células (40 x 40), cada célula representa uma dimensão de 18,75 m^2 da realidade, tendo em média um 1 imóvel (com até 4

habitantes por imóvel). Os limites do mundo seguem a regra do toro.

3.4 Estados da Célula

Como já fora dito anteriormente, as células vão representar uma fração do mundo correspondente ao tamanho de uma pequena residência. Estas células poderão se encontrar em diferentes níveis de risco para uma infecção de esquistossomose, contudo, uma região só pode se encontrar em dois estados, a mesma pode estar infectada ou não. A idéia presente neste modelo baseia-se não apenas em mostrar os locais que possuem focos da doença, mas os seus respectivos níveis de risco para que venham a ser um futuro ponto infectado, como também a evolução da doença em períodos posteriores caso uma ação não seja tomada nestas regiões de risco.

Portanto, existem apenas dois estados (infectado ou não), mas o modelo mostra, também, os níveis de risco de acordo com a seguinte ordem:

1 – Área não infectada;
2 – Área com leve risco de infecção;
3 – Área com alto risco de infecção;
4 – Área infectada.

3.5 Níveis de Risco e Parâmetros de Simulação

Os níveis de risco são determinados através de pontuações que as células possuem. De acordo com a quantidade de fatores determinantes para a disseminação da doença que estão presentes em cada região, a mesma ganha certa quantidade de pontos.

Como já observamos os níveis deste modelo estão divididos em quatro, assim como também há quatro fatores que influenciam de forma cumulativa e para cada um destes foi atribuído uma pontuação.

1 – Há lagos, rios ou córregos;

2 – Há presença de moluscos;

3 – Não há tratamento de esgoto;

4 – Há indícios de pessoas doentes na vizinhança;

Para cada um destes níveis de risco, foram dados sete pontos. Portanto temos os seguintes níveis de em termos de pontuação:

0 a 7 pontos – Não infectado (nível 1);

8 a 14 pontos – Leve risco de infecção (nível 2);

15 a 21 pontos – Alto risco de infecção (nível 3);

22 pontos ou mais – Região infectada (nível 4);

Para melhor visualizar os níveis de infecção, as células ganham cores distintas de acordo com os seus níveis. A figura 5 mostra um exemplo do nosso mundo com a distribuição das células de acordo com os seus níveis de risco. O esquema de cores funciona da seguinte forma:

Nível 1 – Cor branca;

Nível 2 – Cor cinza claro;

Nível 3 – Cor cinza escuro;

Nível 4 – Cor preta;

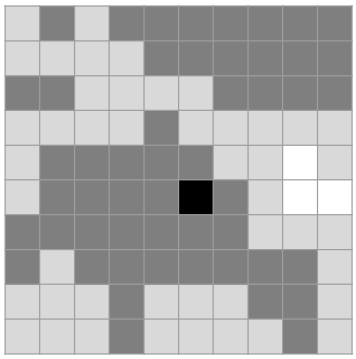

Figura 2 - Representação do mundo com níveis de infecção

Desta forma, os parâmetros de simulação verificam quantos fatores cada região possui, além de contar os seus vizinhos, através de uma matriz de risco. Esta matriz, por sua vez, é formada pela soma de outras quatro matrizes. Cada uma destas simulando um fator de risco. Assim, temos uma matriz que simula a quantidade de lagos, outra que simula a quantidade de moluscos, mais uma para simular os locais sem tratamento de esgoto e outra que simula a quantidade de vizinhos, juntamente com o seu nível de risco.

Assim, os parâmetros de simulação vão ser formados através de pares ordenados, onde no primeiro item temos a situação de uma determinada área (se de nível 1, 2, 3, ou 4) e no segundo item o seu nível de risco. Através desta técnica a mudança da cor da célula é feita de acordo com a pontuação alcançada no nível de risco.

4 Resultados Obtidos

Nesta pesquisa a idéia central consistiu em elaborar um modelo epidemiológico simples que ao receber alguns parâmetros, pudesse simular uma possível propagação de áreas infectadas pela esquistossomose. Assim, foi possível notar que nas áreas onde a matriz de risco

coincidiu os fatores que determinavam a região contaminada pela doença ficaram com nível de risco 3, tornando-se uma região negra no modelo final. Ao interagir recursivamente, avaliando os novos estados, de acordo com as mudanças ocorridas em toda a vizinhança, foi possível notar a expansão da doença, de forma que os resultados foram satisfatórios e eficientes, mostrando claramente como a doença poderá se alastrar caso nenhuma intervenção venha a ser feita.

Assim, este modelo apesar de apresentar uma simulação simples, torna-se eficiente a ponto de poder ser aplicado, necessitando apenas da inserção de suas matrizes de risco. Uma melhor visualização de um estado inicial e final de nosso mundo, na simulação, pode ser observada nas figuras 7 e 8.

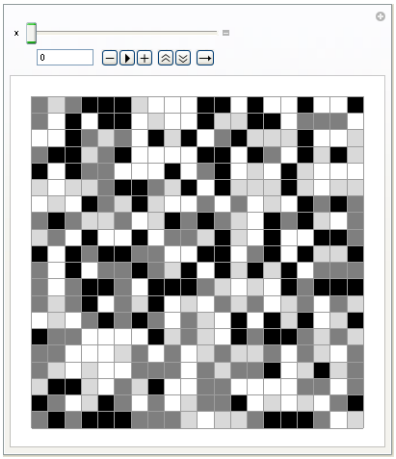

Figura 7 - Estado inicial de uma simulação

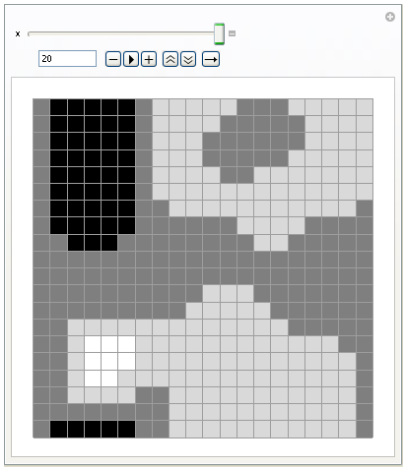

Figura 8 - Estado final da simulação da figura 7

5 Conclusões

Mesmo com resultados satisfatórios, se faz necessário um maior estudo para o desenvolvimento de melhorias, levando em consideração outros parâmetros. Atualmente tenta-se integrar modelos distintos em um único modelo. Trazendo, com isso, um modelo que possui mais parâmetros. No futuro é possível o desenvolvimento de um modelo mais robusto e eficaz na simulação. Modelos este, que ao se basear neste modelo proposto, pode incluir simulações com intervenções em tempo real na propagação da doença. Uma vez, que estas intervenções possam ser simuladas, é possível através da simples análise deste, visualizar a melhor forma de intervir na propagação da doença, de forma eficiente e econômica.

6 Referências Bibliográficas

[1] BAILLY, A. - *Dictionnaire grec-français*, 16. ed. Paris, Lib. Hachette, 1950. Pesquisado em http://usuarios.cultura.com.br/jmrezende/endemia.htm data: 20/06/2008

[2] SOARES, J.L. - *Dicionário etimológico e circunstanciado de biologia*, São Paulo.

[3] Larousse, Ática: Dicionário da Língua Portuguesa– París: Larousse / São Paulo: Ática, 2001 Scipione, 1993.

[4] Varella, Drauzio. Em http://drauziovarella.ig.com.br/arquivo/arquivo.asp?doe_id=70. Pesquisa realizada em 18/06/2008 as 19:*14*

[5] 10º Simpósio internacional sobre esquistossomose - FioCruz - Setembro de 2005 - Belo Horizonte – MG

[6] Wolfram,Stephen;in "*A New Kind of Science*, 2002"

[7] Rucker, Rudy; in "*The Lifebox, The Seashell and The Soul,* 2005"

[8] Pesquisa feita através do site http://www.Xiscanoe.org, link direcionado para http://www.outbacksoftware.com/mathematica/mathematica-intro.html em 22/06/2008 as 17:35.

[9] MOTTA, L. Cayolla da; Endémico, in "*Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira da Cultura, Edição Século XXI*", Volume X, Editorial Verbo, Braga, Junho de 1999

[10] AVARES, António; Endemia, in "*Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira da Cultura, Edição Século XXI*", Volume X, Editorial Verbo, Braga, Junho de 1999