

Uso e aplicação de modelagem computacional espacialmente explícita de processos epidêmicos: o exemplo da dengue

Leonardo. B. L. Santos¹, Antônio M. V. Monteiro²

¹Programa de Doutorado em Computação Aplicada – CAP
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

²Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – LAC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

santoslbl@gmail.com, miguel@dpi.inpe.br

Abstract. *The new master plan for the INPE (for the period 2011 to 2015) brings applications in health as one of the institute's strategic objectives. The complexities of the new realities in the urban Brazil suggests new issues in coping with diseases in the context of public health, such as what is the capacity for early detection of the number of cases that characterize outbreaks, the mechanisms modeling and the vector control optimization, especially in the case of dengue fever. This article discusses the literature specialized in spatially explicit computer modeling on dengue epidemics. It discusses the gaps left for each work and features placed as fundamental to effective and efficient implementation of academic methodologies and operational applications in surveillance epidemiology.*

Resumo. *O novo plano diretor do INPE (para o período de 2011 a 2015) traz aplicações em saúde como um dos objetivos estratégicos do instituto. As complexidades das novas realidades do Brasil urbano sugerem novas questões no enfrentamento das doenças transmissíveis no contexto da saúde pública, como qual a capacidade de detecção precoce de número de casos que caracterizam surtos epidêmicos, e a modelagem e otimização de formas de controle e combate vetorial, especialmente no caso da dengue. O presente artigo discute a literatura especializada na área de modelagem computacional espacialmente explícita de epidemias de dengue. São discutidas as lacunas deixadas por cada trabalho e apresentadas características colocadas como fundamentais para a transposição eficaz e eficiente entre metodologias acadêmicas e aplicações operacionais em vigilância epidemiológica.*

Palavras-chave: *modelagem matemática e computacional, epidemiologia matemática e computacional, dengue*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país urbano e complexo, com alta densidade populacional, onde ainda persistem desigualdades intra-urbanas que amplificam um quadro de vulnerabilidades sociais diferenciadas e contribuem para a proliferação e disseminação de doenças endêmicas e epidemias. Tal contexto aponta para a necessidade de novos instrumentos para os desafios do enfrentamento às doenças transmissíveis nas cidades.

Estudos das interações Clima-Ambiente-Saúde em meio urbano são cada vez mais essenciais para que, conhecendo melhor, possamos informar melhor os programas de

controle e vigilância de endemias e epidemias em particular o Programa de Controle da dengue.

As complexidades das novas realidades do Brasil urbano sugerem novas questões no enfrentamento das doenças transmissíveis no contexto da saúde pública (Câmara, 2001; Monteiro, 2005; Monteiro, 2009; Regis, 2008; Regis, 2009). Um grande desafio técnico-científico é a capacidade de prover ambientes computacionais que permitam o tratamento de dados e a modelagem da dinâmica quando há um extraordinário conjunto de dados produzidos em múltiplas escalas, por múltiplas fontes, em diferentes épocas. Contribuíram para este crescente volume de dados o aumento na oferta de imagens de satélites em diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, o uso de GPS para coleta direta de dados, o acesso a bases de dados demográficos mais detalhadas (Santa Catarina, 2009) e os diversos estudos de casos em epidemias por todo o país, com coletas de dados entomológicos e epidemiológicos.

2. BREVE REVISÃO DA LITERATURA

A modelagem matemática e computacional de doenças seja no nível *intra* (Reis et al., 2009) ou *inter host* (Santos et al., 2009) e a análise de dados biológicos (Góes-Neto et al., 2010; Andrade et al., 2011) têm sido cada vez mais aplicados a contextos de saúde pública. A possibilidade de testes exaustivos *in silício*, e a execução automática de tarefas complexas estão entre as razões mais importantes deste sucesso.

Na base de dados do site ISI constam apenas 8 artigos completos publicados em periódicos com modelos espacialmente explícitos para a dengue, a saber:

- (Ferreira, 2006) - Primeiro artigo a apresentar um autômato celular para o problema. Todavia há representação apenas para a população vetorial.
- (Silva et al., 2007) - Artigo que traz a ideia de configurar os vértices de uma rede complexa como autômatos celulares. É implementado um modelo simples para dengue, mas não há análises espaciais.
- (Maidana et al., 2008) - Primeiro modelo baseado em equações diferenciais parciais para epidemias de dengue. Contudo nenhuma análise confrontando os resultados do modelo com epidemias reais foi efetuada.
- (Massad et al., 2008) - Primeiro artigo a apresentar confronto entre modelo e dados reais. O modelo utilizado era baseado em equações diferenciais ordinárias, não sendo espacialmente explícito, todavia os resultados do modelo eram condizentes individualmente aos nós da rede, com as arestas de tal promovendo a dinâmica espacial, entretanto, tal dinâmica não é mostrada.
- (Ramchurn et al., 2009) - Introduziram uma metodologia que combina imagens do Google Earth com um autômato celular e redes livres de escala para analisar epidemias de dengue. Contudo, novamente, não há confronto com dados reais.
- (Favier et al., 2010) - São discutidos aspectos distintos e aproximações entre modelos baseados em agentes e formulações contínuas baseadas em equações diferenciais. Também apresentam um esquema de estimação de parâmetros para validação de modelos. Todavia não há nenhuma comparação com dados reais.
- (Santos et al., 2010) - Primeiro modelo espacialmente explícito para a dengue a considerar as fases aquática e alada do vetor, com confronto com dados reais, em relação tanto a séries temporais quanto a padrões espaço-temporais. É o artigo

mais citado desta lista (7 citações em artigos completos publicados em periódicos internacionais), mas a metodologia de estimação de parâmetros não é eficiente, prejudicando o caráter preditivo do modelo e aplicação a outras epidemias.

- (Medeiros et al., 2011) - Artigo que apresenta um modelo dinâmico para a dengue abordando a fase alada do vetor e a população humana: não traz a fase aquática, fase na qual diversas formas de controle vetorial podem ser aplicadas. Não são efetuados confrontos explícitos entre resultados dos modelos e dados reais.

3. INOVAÇÕES PARA O MONITORAMENTO E CONTROLE DA DENGUE

Em todos os artigos com modelos espacialmente explícitos mencionados na seção anterior uma ou mais das seguintes características era faltante:

- Representação para a fase aquática e alada do vetor e para a população humana relevante para avaliação em modelo de estratégias de controle vetorial nas diversas fases de vida do vetor e da influência da mobilidade humana na dinâmica;
- Confronto com dados reais: séries temporais e padrões espaço-temporais para validação do modelo;
- Metodologia clara e eficiente de calibração de modelo estimação de parâmetros (Campos Velho, 2008) indispensável para reprodução com eficácia computacional de uma maior gama de epidemias.

O modelo a ser construído no doutoramento ao qual este artigo reporta pretende abordar todas estas características.

4. CONCLUSÕES

No presente artigo é discutida a literatura especializada na área de modelagem computacional espacialmente explícita da dengue, bem como algumas das características consideradas fundamentais para uma transição eficaz e eficiente entre metodologias acadêmicas e aplicações operacionais em vigilância epidemiológica.

A persistência da dengue no país deixa claro o esgotamento das estratégias padrões de monitoramento da população vetorial seja na fase aquática seja na alada, bem como da evolução do número de casos na população - deixando evidente a necessidade não apenas de melhoramentos incrementais, mas de inovações.

Tais inovações para serem incorporadas efetivamente nos serviços de vigilância em saúde devem levar em conta não apenas questões técnicas do modelo – como taxa de amostragem no monitoramento e padrão de distribuição de armadilhas no controle (Ranck-Junior e Santos, 2010) – mas também interações com a população, seja por web-sites seja por outras mídias sociais (Santos e Baldo, 2011).

Este projeto procura contribuir com o avanço dos instrumentos para o enfrentamento de doenças com ciclo de transmissão complexo e grande complexidade de seu vetor em ambiente urbano. Com o uso de dados ambientais e sóciogeográficos relativos a cidades reais o projeto espera montar um laboratório onde os modelos das dinâmicas ganham características mais realistas e possam começar a ser introduzidos de fato nos serviços através do auxílio à decisão no delineamento de programas de controle e vigilância de endemias urbanas, como a dengue.

Referências

- [1] Andrade, R. F. S. ; Rocha-Neto, I. C. ; Santos, L. B. L. ; de Santana, C. N. ; Diniz, M. V. C. ; Lobão, T. P. ; Goés-Neto, A. ; Pinho, S. T. R. ; El-Hani, C. N. Detecting Network Communities: An Application to Phylogenetic Analysis. PLoS Computational Biology, v. 7, p. e1001131, 2011.
- [2] Câmara, G.; Monteiro, A. M. V. (2001). Geocomputation Techniques for Spatial Analysis: Are They Relevant for Health Data?. Cadernos de Saúde Pública. Rio de Janeiro, v.17, n.5, p.1059 - 1081.
- [3] Campos Velho, H. (2008) Problemas Inversos em Pesquisa Espacial, Mini-curso – Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC), Belém (PA), Brasil, 120 p.
- [4] Góes Neto, A; et al. (2010). Comparative protein analysis of the chitin metabolic pathway in extant organisms: A complex network approach. BioSystems, v. 101, p. 5966.
- [5] Medeiros, L. C. D. et al. Modeling the Dynamic Transmission of Dengue Fever: Investigating Disease Persistence. PLOS neglected tropical diseases. v. 5, n. 1, 2011
- [6] Monteiro, A. M. V.; Carvalho, M. S.; Assunção, R.; Souza, W. V.; Ribeiro Jr, P. J.; Davis Jr, C.; Regis, L.; the SAUDAVEL Project Team (2005). SAUDAVEL: Bridging the Gap between Research and Services in Public Health Operational Programs by Multi-Institutional Networking Development and Use of Spatial Information Technology Innovative Tools. Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/saudavel/index.html>. Acessado em 10 de Dezembro de 2010.
- [7] Monteiro, A. M. et al. (2009) Saudável: Bridging the Gap between Research and Service in Public Health Operational Programs by Multi. Institutional. Rev. Bras. Biom., São Paulo, v.27, n.4, p.519-537.
- [8] Ranck Junior, R.; Santos, L. B. L. (2010) Análise Iterativa dos Problemas de P-centros e P-medianas para um Crescente Número de Facilidades: Estudo de Caso na Epidemia de Dengue, Salvador, 1995, 9th Brazilian Conference on Dynamics, Control and Their Applications. Anais..., Serra Negra. Disponível em: <http://www.sbmac.org.br/dincon/trabalhos/PDF/optimization/67808.pdf>
- [9] Reis, E. A.; Santos, L. B. L.; Pinho, S. T. R. (2009). A cellular automata model for avascular solid tumor growth under the effect of therapy. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 388, n. 7, p. 1303-1314.
- [10] Santos, L. B. L.; Costa, M. C.; Pinho, S. T. R.; Andrade, R. F. S.; Barreto, F. R.; Teixeira, M. G.; Barreto, M. L. (2009). Periodic forcing in a three-level cellular automata model for a vector-transmitted disease. Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics (Print), v. 80, p. 016102.
- [11] Santos, L. B. L e Pinho, S. T. R. (2008). Modelagem matemática e computacional da Dengue utilizando Autômatos Celulares interligados e sistema não autônomo de Equações Diferenciais. Jornada Nacional de Iniciação Científica - 2008. IMPA, Rio de Janeiro.
- [12] Santos, L. B. L.; Baldo, R. (2011) Interfaces entre comunicação digital, vigilância epidemiológica e modelagem computacional. Anais da 63ª reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC).