

OTIMIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM REDES DE TRANSMISSÃO DE DENGUE VIA MODELAGEM EM GRAFOS E PESQUISA OPERACIONAL

Maria Luzia da Silva Mélo¹, Marcilio Ferreira dos Santos¹, Cleiton de Lima Ricardo², José Horacio Batista Júnior¹, Jose Antonio De Moura Xavier¹, Andreza dos Santos Rodrigues de Melo³

¹*Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro Acadêmico do Agreste (CAA), Núcleo de Formação de Docentes (NFD), Caruaru, Pernambuco, Brasil.*

²*Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro Acadêmico do Agreste (CAA), Núcleo Interdisciplinar de Ciências Exatas e da Natureza (NICEN), Caruaru, Pernambuco, Brasil.*

³*Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Campus Sede, Departamento de Engenharia Cartográfica (DeCart), Recife, Pernambuco, Brasil.*

Resumo: A dengue permanece como uma das principais arboviroses de importância epidemiológica, exigindo estratégias cada vez mais eficientes para o planejamento das ações de controle. A representação da transmissão por meio de grafos espaço-temporais permite modelar relações potenciais entre casos e regiões, explorando propriedades estruturais das redes complexas. Neste trabalho propõe-se o desenvolvimento de um modelo que integra Teoria dos Grafos e Pesquisa Operacional para otimizar intervenções em redes de transmissão da dengue. Serão construídos grafos a partir de dados georreferenciados, calculadas métricas estruturais e formulados modelos de otimização baseados em programação inteira e problemas clássicos de cobertura e localização. Espera-se que a metodologia contribua para a identificação de áreas prioritárias para intervenção, oferecendo uma ferramenta quantitativa de apoio ao planejamento das ações de vigilância epidemiológica.

Palavras-chave: Dengue; Teoria dos Grafos; Pesquisa Operacional; Redes Complexas.

INTRODUÇÃO

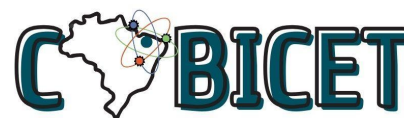
A dengue representa um dos maiores desafios para a saúde pública em regiões tropicais, sendo influenciada por fatores ambientais, espaciais e temporais que tornam sua dinâmica de transmissão altamente complexa. Modelagens tradicionais frequentemente utilizam agregações espaciais que reduzem a capacidade de representar interações locais entre casos da doença.

A Ciência das Redes Complexas fornece uma estrutura matemática capaz de representar essas interações por meio de grafos, nos quais vértices representam indivíduos ou regiões e as arestas representam possíveis relações de transmissão (BARABÁSI, 2016; NEWMAN, 2010). Essa abordagem permite investigar propriedades estruturais associadas à propagação de epidemias e compreender como características da rede

influenciam sua dinâmica (PASTOR-SATORRAS *et al.*, 2015).

Diversas métricas oriundas da Teoria dos Grafos, como centralidade, grau, coeficiente de agrupamento e componentes conexas, podem ser empregadas para identificar vértices com maior relevância estrutural dentro da rede (FREEMAN, 1979; CHUNG, 1997). Entretanto, conhecer a estrutura da rede não é suficiente para definir quais intervenções devem ser realizadas quando os recursos disponíveis são limitados.

Nesse contexto, técnicas de Pesquisa Operacional oferecem ferramentas para otimizar processos decisórios por meio de modelos matemáticos, permitindo selecionar estratégias que minimizem custos e maximizem benefícios (TAHA, 2017). Problemas clássicos, como cobertura mínima, localização de facilidades e programação inteira, possuem aplicações diretas na definição de regiões



prioritárias para ações de vigilância epidemiológica (BERTSEKAS, 1998; WOLSEY, 1998).

Diante desse cenário, este trabalho propõe integrar modelagem em grafos espaço-temporais e otimização matemática para desenvolver estratégias quantitativas capazes de apoiar o planejamento de intervenções no controle da dengue. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de otimização baseado em grafos espaço-temporais para apoiar a definição de estratégias eficientes de intervenção na transmissão da dengue.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo será desenvolvido utilizando a base Arboviral Disease Cases in Recife, Brazil (2013–2025): Clean and Geocoded Dataset, composta por registros georreferenciados de casos confirmados de dengue, chikungunya e zika no município do Recife, previamente submetidos a processos de padronização, limpeza, geocodificação e anonimização, tornando-os adequados para análises espaciais e espaço-temporais (FERREIRA DOS SANTOS; DOS SANTOS RODRIGUES DE MELO; DE LIMA RICARDO, 2026). O conjunto de dados foi estruturado a partir de registros do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), disponibilizado em formato aberto e compatível com diferentes ferramentas de análise científica.

Inicialmente serão construídos grafos espaço-temporais em que cada vértice representa um caso individual (ou agregações espaciais, como bairros), enquanto as arestas serão definidas segundo critérios de proximidade espacial e compatibilidade temporal, representando potenciais relações de transmissão da doença (KISS; MILLER; SIMON, 2017).

Após a construção da rede serão calculadas métricas clássicas da Teoria dos Grafos, incluindo grau, centralidade de grau, proximidade, intermediação, coeficiente de agrupamento e componentes conexas, permitindo caracterizar a importância estrutural dos vértices na dinâmica da transmissão (FREEMAN, 1979; PÓSFAL, 2016).

Com base nessa estrutura será formulado um problema de otimização inspirado em modelos clássicos da Pesquisa Operacional, como o Set Covering Problem (SCP) e o Facility Location Problem (FLP), buscando selecionar subconjuntos ótimos de vértices ou regiões para intervenção. O objetivo será minimizar o custo operacional das ações de controle, como visitas domiciliares, bloqueio vetorial e campanhas educativas, ao mesmo tempo em que se maximiza a cobertura das regiões potencialmente mais relevantes para interromper a propagação da doença (BERTSEKAS, 1998; TAHA, 2017).

Os modelos serão resolvidos por meio de programação inteira utilizando bibliotecas como PuLP ou OR-Tools. Quando o tamanho da rede inviabilizar soluções exatas, serão empregados algoritmos heurísticos para obtenção de soluções aproximadas em tempo computacional reduzido (WOLSEY, 1998).

Toda a implementação será realizada em Python, utilizando bibliotecas como NetworkX, NumPy e Pandas, enquanto a avaliação das estratégias propostas será conduzida por simulações computacionais, comparando cenários com e sem otimização das intervenções.

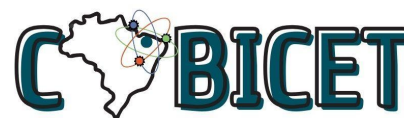
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espera-se que a modelagem em grafos espaço-temporais permita representar de forma mais realista a dinâmica de transmissão da dengue quando comparada às abordagens tradicionais baseadas apenas em agregações espaciais. A construção da rede possibilitará identificar padrões estruturais associados à propagação da doença, evidenciando vértices ou regiões que desempenham papel estratégico na manutenção da conectividade da rede epidemiológica.

A análise das métricas estruturais, como grau, centralidade de intermediação, proximidade e coeficiente de agrupamento, deverá permitir a identificação de áreas críticas para intervenção, fornecendo indicadores quantitativos para subsidiar ações de vigilância epidemiológica (FREEMAN, 1979; BARABÁSI, 2016). Espera-se ainda que a utilização dessas métricas possibilite compreender como diferentes regiões contribuem para a disseminação da doença, identificando possíveis pontos de maior vulnerabilidade da rede.

A formulação do problema como um modelo de otimização deverá permitir selecionar subconjuntos de vértices que maximizem o impacto das intervenções sob restrições de recursos, característica inerente às ações de saúde pública. Modelos de programação inteira e problemas clássicos de cobertura e localização têm demonstrado elevada eficiência na alocação ótima de recursos em redes complexas (BERTSEKAS, 1998; TAHA, 2017; WOLSEY, 1998), indicando potencial para aplicação em estratégias de controle epidemiológico.

Do ponto de vista computacional, espera-se desenvolver uma ferramenta capaz de integrar construção de grafos, cálculo de métricas estruturais e resolução de modelos de otimização em um fluxo único de análise. Essa integração poderá reduzir o tempo necessário para avaliação de cenários de intervenção, permitindo que diferentes estratégias sejam simuladas e comparadas de maneira sistemática.



Além das contribuições metodológicas, o projeto pretende fortalecer a aplicação integrada da Ciência das Redes e da Pesquisa Operacional na Epidemiologia Computacional. A metodologia proposta poderá ser adaptada para outras arboviroses e doenças transmissíveis que apresentem dependência espaço-temporal, ampliando sua aplicabilidade em diferentes contextos de vigilância em saúde (PASTOR-SATORRAS *et al.*, 2015; KISS; MILLER; SIMON, 2017).

Diferentemente das abordagens que utilizam apenas indicadores epidemiológicos agregados, a metodologia proposta incorpora explicitamente a estrutura topológica da rede de transmissão na definição das estratégias de intervenção. Essa integração entre Teoria dos Grafos e Pesquisa Operacional tem potencial para produzir decisões mais eficientes na alocação de recursos públicos, aproximando a modelagem matemática das necessidades operacionais da vigilância epidemiológica e contribuindo para o desenvolvimento de ferramentas quantitativas de apoio à tomada de decisão.

CONCLUSÃO

Este trabalho propõe uma abordagem integrada entre Teoria dos Grafos e Pesquisa Operacional para apoiar a definição de estratégias de intervenção em redes de transmissão da dengue. Ao representar a dinâmica epidemiológica por meio de grafos espaço-temporais e empregar modelos de otimização matemática, espera-se identificar regiões prioritárias para ações de controle de forma mais eficiente do que abordagens convencionais baseadas apenas em indicadores agregados.

Além de contribuir para o desenvolvimento de métodos quantitativos aplicados à Epidemiologia Computacional, o projeto deverá resultar em uma ferramenta computacional capaz de integrar análise de redes, modelagem matemática e otimização em um único ambiente. A metodologia proposta apresenta potencial de adaptação para outras arboviroses e doenças transmissíveis, constituindo uma base para pesquisas futuras voltadas ao planejamento de políticas públicas e ao fortalecimento da vigilância epidemiológica apoiada por ciência de dados e Pesquisa Operacional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) pelo apoio institucional e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/UFPE) pela concessão da bolsa de iniciação científica, fundamental para o

desenvolvimento desta pesquisa. Também agradecem ao Centro Acadêmico do Agreste (CAA/UFPE) pelo suporte às atividades de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- PÓSFAL, Márton; BARABÁSI, Albert-László. **Network science**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2016.
- BERTSEKAS, Dimitri. **Network optimization: continuous and discrete models**. Athena Scientific, 1998.
- BREIMAN, Leo. Statistical modeling: The two cultures. **Quality control and applied statistics**, v. 48, n. 1, p. 81-82, 2003.
- CHUNG, Fan RK. **Spectral graph theory**. American Mathematical Soc., 1997.
- CORMEN, Thomas H. et al. **Introduction to algorithms**. MIT press, 2022.
- DORIGO, Marco; BIRATTARI, Mauro; STUTZLE, Thomas. Ant colony optimization. **IEEE computational intelligence magazine**, v. 1, n. 4, p. 28-39, 2006.
- FERREIRA DOS SANTOS, Marcílio; DOS SANTOS RODRIGUES DE MELO, André; DE LIMA RICARDO, Cláudia. *Arboviral Disease Cases in Recife, Brazil (2013–2025): Clean and Geocoded Dataset* [Dataset]. Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.19412786.
- FREEMAN, Linton C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social networks**, v. 1, n. 3, p. 215-239, 1978.
- KISS, István Z. et al. Mathematics of epidemics on networks. **Cham: Springer**, v. 598, n. 2017, p. 31, 2017.
- NEWMAN, Mark; BARABÁSI, Albert-László; WATTS, Duncan J. **The structure and dynamics of networks**. Princeton university press, 2011.
- PASTOR-SATORRAS, Romualdo et al. Epidemic processes in complex networks. **Reviews of modern physics**, v. 87, n. 3, p. 925-979, 2015.
- TAHA, Hamdy A. **Operations research: an introduction**. Pearson Education India, 2013.