



SimBraRedes

III Simpósio Brasileiro de Teoria  
e Ciência de Redes

## ESTUDO DA INCIDÊNCIA DE DENGUE NOS MUNICÍPIOS DE MATO GROSSO DO SUL POR MEIO DO USO DE REDES DE VISIBILIDADE E ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

Jéssica Bassani de Oliveira<sup>1</sup>; Thiago Barros Murari<sup>2</sup>; Claudia Andrea Lima Cardoso<sup>3</sup>; Marcelo Albano Moret<sup>4</sup>; Dirceu de Freitas Piedade Melo<sup>5</sup>; Hernane Borges de Barros Pereira<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doutora em Recursos Naturais, UEMS, jessica@uems.br

<sup>2</sup> Doutor em Modelagem Computacional, Centro Universitário Senai Cimatec, thiago.murari@fieb.org.br

<sup>3</sup> Doutora em Química, UEMS, claudia@uems.br;

<sup>4</sup> Doutor em Ciências Biológicas (Biofísica), Centro Universitário Senai Cimatec & Universidade do Estado da Bahia, mmoret@gmail.com;

<sup>5</sup> Doutor em Difusão do Conhecimento, IFBA, dirceu@ifba.edu.br

<sup>6</sup> Doutor em Engenharia Multimídia, Centro Universitário Senai Cimatec & Universidade do Estado da Bahia, hbbpereira@gmail.com;

### RESUMO

Este estudo utiliza redes de visibilidade e análise de agrupamentos para investigar a incidência de dengue nos municípios de Mato Grosso do Sul. As redes de visibilidade foram construídas a partir das séries temporais das incidências de dengue e analisadas para identificar padrões e comunidades de incidência. A análise revelou variações significativas entre os municípios, destacando a necessidade de estratégias de controle adaptadas às características locais e às condições ambientais. Os resultados sugerem que a infraestrutura, as condições socioeconômicas e fatores climáticos podem influenciar na incidência da dengue, com implicações importantes para as políticas de saúde pública.

**PALAVRAS-CHAVE:** aedes aegypti, análise de agrupamentos, saúde pública.

<http://doi.org/10.55664/simbraredes2024.003>

### 1 INTRODUÇÃO

A dengue, uma doença viral transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*, continua sendo um importante problema de saúde pública no Brasil. Sua transmissão é complexa, influenciada por fatores como comportamento dos infectados, precipitação, temperatura e grau de urbanização.<sup>1-3</sup> A dengue é endêmica em muitos países da América, África, Europa, Mediterrâneo Oriental, Sudeste Asiático e Pacífico Ocidental.<sup>4-7</sup> O *Aedes aegypti*, principal vetor da dengue, também transmite febre amarela, zika e chikungunya.<sup>8</sup> A OMS propôs um plano estratégico global para melhorar as ações de prevenção e controle da dengue.<sup>9</sup>

O Programa Nacional de Controle da Dengue no Brasil foi criado em 2002, com a implementação de um Plano de Contingência por todas as secretarias estaduais e municipais de saúde.<sup>10</sup> Apesar dos esforços, a erradicação total da dengue ainda não foi alcançada, em parte devido à responsabilidade principal dos municípios no controle e erradicação da doença.<sup>11</sup> A mobilidade humana, especialmente por meio de viagens globais, é crucial para a rápida propagação de doenças infecciosas emergentes.<sup>12,13</sup> Viagens internacionais podem propagar infecções por dengue e importar casos para regiões não endêmicas.<sup>4,14,15</sup>

Questões como o comportamento de doenças tropicais negligenciadas, especificamente a dengue, o fornecimento de dados para decisões gerenciais por gestores públicos, e a difusão da dengue são analisadas para oferecer diferentes perspectivas sobre as causas que influenciam as decisões de combate e prevenção da doença.<sup>1-3</sup>

Diversos autores discutem estratégias e contextos relacionados à dengue e ao comportamento do vírus DENV em relação aos dados de saneamento<sup>16</sup>. Por exemplo, Nascimento Filho et al.<sup>17</sup> pesquisa os casos de dengue na Bahia, enquanto Saba et al.<sup>18</sup> estuda a relação entre transporte de pessoas e casos de dengue. No entanto, não há estudos que utilizem redes de visibilidade baseadas em casos de dengue. Este trabalho apresenta um método inovador para estudar séries temporais de casos de dengue.

A análise de redes complexas tem se mostrado uma abordagem poderosa para entender a dinâmica de sistemas complexos, como a disseminação de doenças infecciosas. Tsiotas e Magafas<sup>19</sup> utilizaram os grafos de visibilidade para transformar a curva de infecção de COVID-19 na Grécia em uma



SimBraRedes

III Simpósio Brasileiro de Teoria e Ciência de Redes

rede complexa, permitindo a identificação de padrões temporais e a avaliação do impacto de políticas públicas na evolução da doença.

Neste trabalho, examinamos redes de visibilidade baseadas em casos de incidência de dengue nas cidades de Mato Grosso do Sul. Essas redes são construídas conectando pontos de uma série temporal que são visíveis entre si. Realizamos uma análise de agrupamento para entender o comportamento desse sistema comparando as cidades.

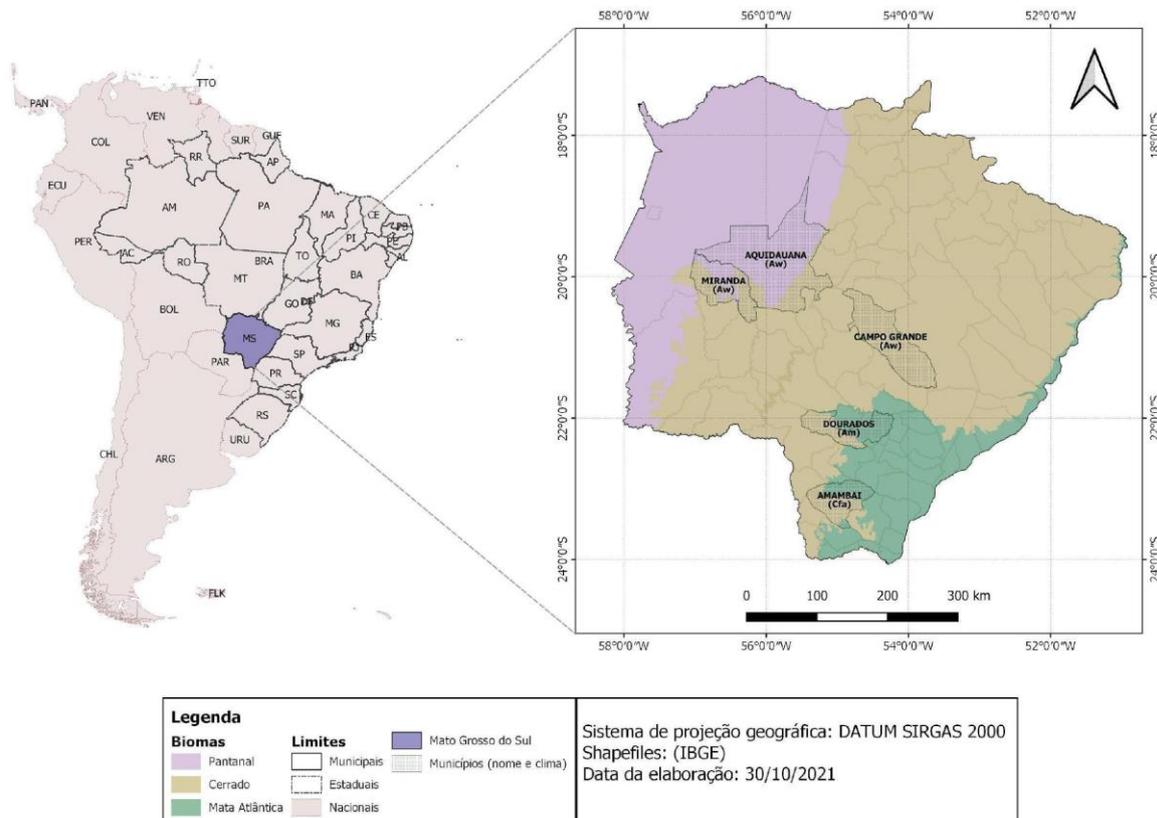
Embora vários estudos sobre redes de visibilidade tenham sido publicados, mais pesquisas são necessárias para determinar a eficiência dessas redes como sistemas de classificação.<sup>20</sup> O objetivo deste artigo é estudar redes de visibilidade baseadas em casos de dengue em Mato Grosso do Sul, analisar suas propriedades topológicas e realizar uma análise de agrupamento, apresentando reflexões sobre o comportamento das incidências de dengue.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O Estado de Mato Grosso do Sul, localizado na Região Centro-Oeste do Brasil, faz divisa com cinco estados brasileiros e dois países, e é composto por três biomas: Pantanal, Mata Atlântica e Cerrado.  
21

Analisamos as incidências de dengue diárias por 100 mil hab dos 79 municípios de Mato Grosso do Sul. A Figura 1 apresenta um mapa com as localizações dos municípios e os biomas que compõem a região. Corumbá está coberto predominantemente pelo bioma Pantanal, enquanto Campo Grande está totalmente coberto pelo bioma Cerrado. Dourados, por sua vez, é coberto por uma combinação dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, refletindo a diversidade ecológica da região.

Figura 1. Estado de Mato Grosso do Sul, com limites territoriais e biomas de cobertura.



### 2.1 Transformação da série temporal em um grafo de visibilidade

O grafo é uma estrutura matemática  $G = (V, E)$ , onde  $V$  é o conjunto de vértices e  $E$  é o conjunto de arestas. Lacasa et al.<sup>20</sup> propõem um algoritmo que mapeia séries temporais em grafos, denominado

grafo de visibilidade. Segundo esse algoritmo, dois valores da série temporal  $(t_A, y_A)$  e  $(t_B, y_B)$ , tomados arbitrariamente, terão visibilidade mútua, e, conseqüentemente, se tornarão dois vértices conectados no grafo associado, se todo ponto  $(t_C, y_C)$  entre eles satisfaz a relação dada na Equação 1.

$$y_C < (y_A - y_B) \frac{t_B - t_C}{t_B - t_A} \quad (1)$$

Na interpretação de Melo, Fadigas e Pereira<sup>22</sup>, com o rearranjo da Equação 1, se representarmos  $A = (t_A, y_A)$ ,  $B = (t_B, y_B)$  e  $C = (t_C, y_C)$  no plano cartesiano, os pontos  $A$  e  $B$  estarão conectados no grafo associado se, para todo ponto  $C$  entre  $A$  e  $B$ , a inclinação da reta  $BC$  é maior que a inclinação da reta  $BA$  (Equação 2).

$$\frac{y_B - y_C}{t_B - t_C} > \frac{y_B - y_A}{t_B - t_A} \quad (2)$$

As redes de visibilidade foram construídas a partir das séries temporais de incidência de dengue em 79 municípios do Mato Grosso do Sul, abrangendo 2.922 observações entre janeiro de 2013 e dezembro de 2020. Em cada município, a série temporal gerou uma rede de visibilidade, totalizando 2.922 vértices. Nesta pesquisa, os vértices representam os pontos da série (i.e., valores diários da incidência de dengue por 100 mil habitantes), enquanto as arestas simbolizam as conexões entre os pontos visíveis na série temporal, conforme definido pela Equação 2.

Após a construção das redes de visibilidade da incidência de dengue nos municípios do Mato Grosso do Sul, calculamos 15 propriedades a serem usadas na análise de agrupamento, a saber: densidade ( $\Delta$ ), grau médio ( $\langle k \rangle$ ), diâmetro ( $D$ ), caminho mínimo médio ( $L$ ), coeficiente de aglomeração médio ( $C_{WS}$ ), modularidade ( $Q$ ), eficiência global ( $E_{global}$ ), eficiência local ( $E_{local}$ ), o parâmetro de escala ( $\gamma$ ) da distribuição de grau, assortatividade ( $r$ ), centralização de grau ( $CZ_D$ ), centralização de proximidade ( $CZ_C$ ), centralização de intermediação ( $CZ_B$ ), centralização de autovetor ( $CZ_E$ ), autovalor ( $C_A$ ). As propriedades da rede de visibilidade fornecem uma visão detalhada das características estruturais das séries temporais da incidência da dengue.

Então, realizamos o cálculo da similaridade entre as 79 cidades usando as 15 propriedades de redes de visibilidade usando o modelo de Gower<sup>23</sup>. Após o cálculo da matriz de similaridade utilizamos a distância euclidiana para construir a matriz de distâncias. Então, aplicamos 7 métodos aglomerativos (i.e., simples, completo, Ward.D2, centroide, média, Mcquitty, e mediana) à matriz de distâncias e para cada um dos métodos calculamos o coeficiente cofenético. O método aglomerativo da média apresentou o maior coeficiente cofenético igual a 0,8779078.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geramos 79 redes, uma para cada município estudado. Os resultados foram analisados com base nas características topológicas das redes de visibilidades construídas e na análise de agrupamento dessas redes. Para este trabalho, apresentamos na Tabela 1 as propriedades da rede de visibilidade da incidência de dengue no município de Dourados.

**Tabela 1.** Propriedades da rede de visibilidade da incidência de dengue no município de Dourados.

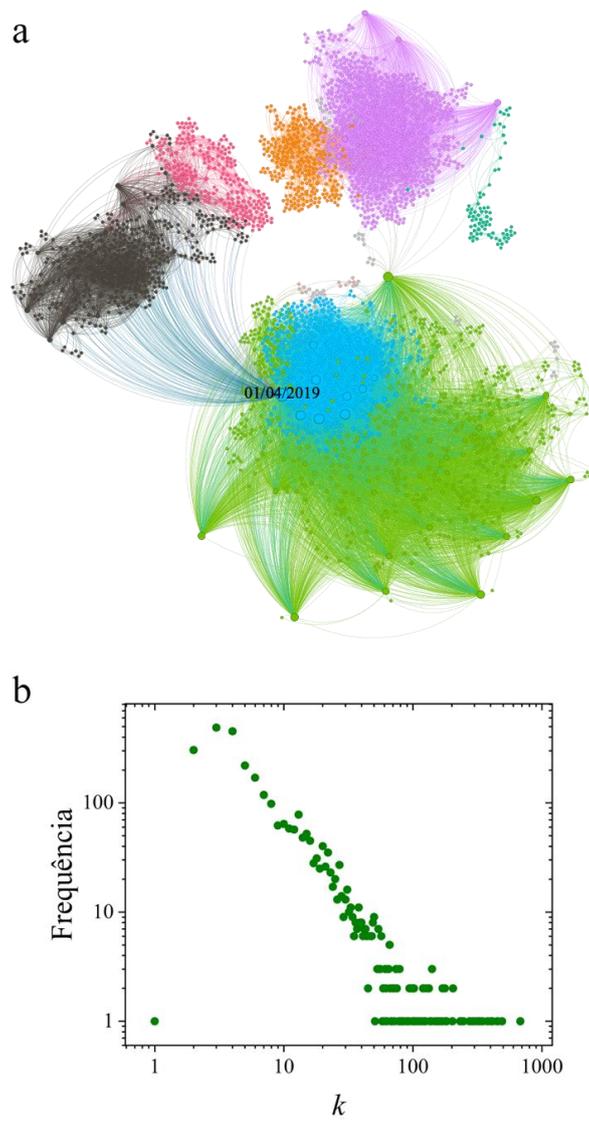
Redes	$\langle k \rangle$	$D$	$L$	$C_{WS}$	$\Delta$	$Q$	$E_{glob}$	$E_{loca}$	$\gamma$	$r$	$CZ_D$	$CZ_C$	$CZ_B$	$CZ_E$	$C_A$
RV da incidência de dengue no município de Dourados (Figura 2a)	14,88	12	4,09	0,75	0,005	0,64	0,275	0,874	2,10	-0,19	0,22	0,33	0,49	0,96	84,66

Legenda - RV: Rede de visibilidade;  $\langle k \rangle$ : grau médio;  $D$ : diâmetro;  $L$ : caminho mínimo médio;  $C_{WS}$ : coeficiente de aglomeração médio;  $\Delta$ : densidade;  $Q$ : modularidade;  $E_{global}$ : eficiência global;  $E_{local}$ : eficiência local;  $\gamma$ : parâmetro de escala da distribuição de grau;  $r$ : assortatividade;  $CZ_D$ : centralização de grau;  $CZ_C$ : centralização de proximidade;  $CZ_B$ : centralização de intermediação;  $CZ_E$ : centralização de autovetor;  $C_A$ : autovalor.

Na Figura 2, apresentamos, como exemplo, a rede de visibilidade da incidência de dengue em Dourados (Figura 2a) e sua distribuição de graus (Figura 2b). Na Figura 2a, apresentamos a rede de visibilidade da incidência de dengue em Dourados e destacamos um *hub* que ocorre na data de 01 de abril de 2019, indicando um pico de maior incidência da doença. Este *hub* está localizado em uma data que corresponde ao período de maior número de casos registrados, refletindo a fase mais crítica da epidemia de dengue no município. O grau ( $k = 680$ ) deste *hub* é excepcionalmente alto, o que indica que esse período pode estar fortemente conectado a outros eventos temporais na rede, sugerindo uma concentração significativa de casos de incidência de dengue em um curto espaço de tempo. De acordo com dados meteorológicos do INMET, o mês de abril foi precedido por meses de intensas chuvas na região, combinadas com temperaturas mais elevadas. Esses fatores criaram um ambiente propício para a proliferação do mosquito *Aedes aegypti*.<sup>24,25</sup>

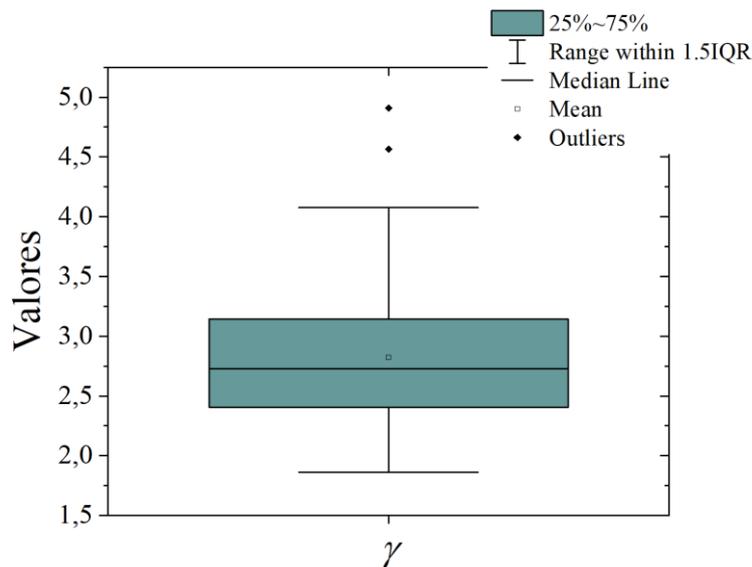
Na Figura 2b, observamos a distribuição de graus dos vértices da rede de visibilidade da incidência de dengue no município de Dourados. Os *hubs* são pontos temporais que têm visibilidade com muitos outros pontos, refletindo períodos de alta incidência contínua ou a persistência de condições favoráveis à incidência da dengue. Em Dourados, esses *hubs* indicam que durante certos períodos, houve uma incidência mais intensa da doença.

**Figura 2.** Rede de visibilidade da incidência de dengue no município de Dourados (a) e sua distribuição de graus (b).



Na Figura 3, exibimos um boxplot dos valores do parâmetro de escala ( $\gamma$ ) para as 79 redes de visibilidade. O valor de mediana é 2,72858 e o valor médio de  $\gamma$  das 79 redes é de 2,82181 com um desvio padrão de 0,56606. A presença de *outliers*, que representam municípios com valores de significativamente mais altos ou mais baixos, sugere uma variabilidade na complexidade das séries temporais de incidência de dengue entre os diferentes municípios. É razoável afirmar que as redes de visibilidade apresentam uma lei de potência na forma  $P(k)k^{-\gamma}$ , o que sugere uma similaridade na topologia das redes de visibilidade da maioria dos municípios, indicando que a dinâmica da dengue segue padrões semelhantes em muitos locais.

**Figura 3.** Boxplot dos valores dos  $\gamma$  para as 79 redes de visibilidade.



Na Figura 4, apresentamos o dendrograma resultante da análise de agrupamento baseada nas propriedades das redes de visibilidade das incidências de dengue nos municípios. A análise de agrupamento separou os municípios em diferentes grupos com base nas similaridades das suas redes de visibilidade.

Observamos que as cidades selecionadas para discussão neste trabalho (i.e., Campo Grande, Dourados e Corumbá) estão em grupos distintos, refletindo as diferenças nas dinâmicas de incidência da dengue em cada um desses locais. Campo Grande, a capital do estado, apresenta um padrão próprio que pode ser influenciado por fatores urbanos específicos, como alta densidade populacional, maior mobilidade urbana e por ter o principal aeroporto do estado, estando assim fortemente conectado com outras regiões brasileiras. Dourados, por sua vez, mostra-se em um grupo diferente, possivelmente devido a uma combinação única de fatores climáticos, bioma e socioeconômicos, além de ter o turismo como uma de suas principais atividades econômicas. Dessa forma, Dourados tem conexão com pessoas que chegam no estado pelo aeroporto de Campo Grande, mas também por pessoas que utilizam a malha viária, vindos principalmente das regiões Sudeste e Sul. Finalmente, Corumbá, localizada na região do Pantanal, está em outro grupo, refletindo a influência de seu ecossistema particular, impactado principalmente por estar em uma divisa com outros dois países da América do Sul, Bolívia e Paraguai, que tem suas próprias políticas de combate e prevenção a dengue.

Essa separação em grupos indica que as estratégias de controle da dengue devem ser adaptadas às características específicas de cada município. A análise de agrupamento ajuda a identificar municípios que podem se beneficiar de estratégias similares e a destacar aqueles que precisam de intervenções customizadas.

Estudos futuros podem relacionar os resultados das redes de visibilidade com variáveis socioeconômicas e ambientais, para avaliar condições em que a infraestrutura e indicadores de qualidade de vida podem ser fatores contribuintes na incidência de dengue. Municípios com maior PIB tendem a ter

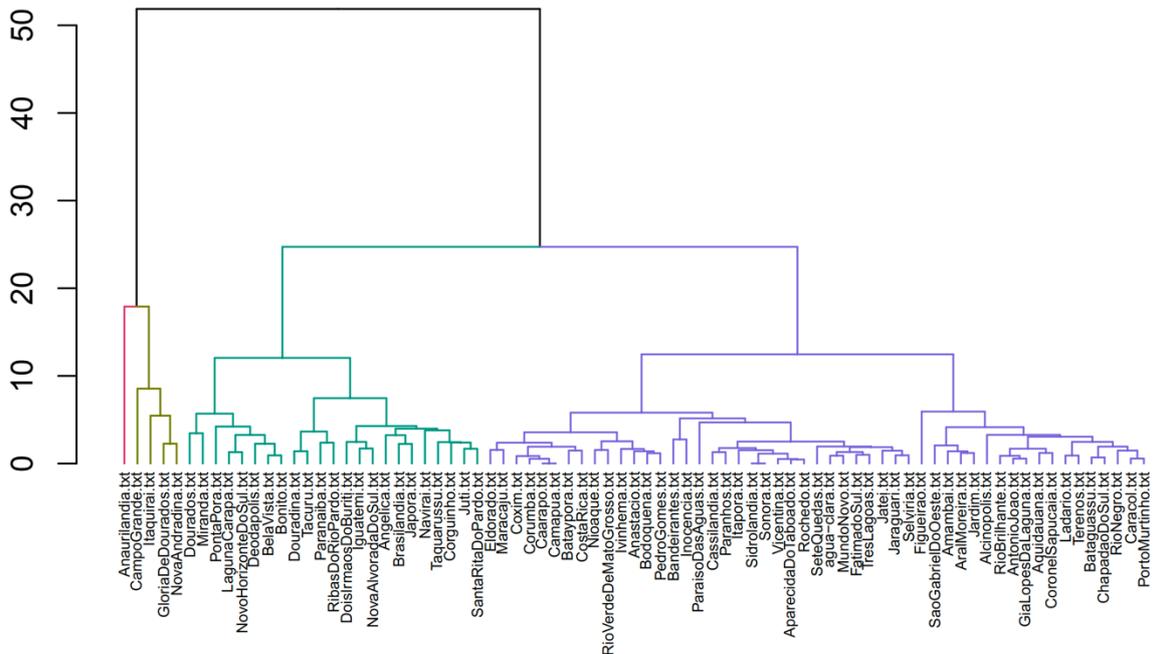


SimBraRedes

III Simpósio Brasileiro de Teoria e Ciência de Redes

melhor infraestrutura de saúde e saneamento, o que pode reduzir a incidência de doenças transmitidas por vetores.<sup>16</sup>

**Figura 4.** Dendrograma a partir das propriedades das redes de visibilidade da incidência de dengue nos municípios de Mato Grosso do Sul.



A área urbanizada dos municípios pode influenciar a densidade populacional e a exposição ao mosquito *Aedes aegypti*. Áreas urbanizadas com alta densidade populacional e condições precárias de saneamento são mais propensas a surtos de dengue devido à maior proximidade entre as pessoas e à abundância de criadouros para os mosquitos.<sup>18</sup>

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As redes de visibilidade demonstraram que são ferramentas importantes para o estudo da incidência de dengue nas cidades de Mato Grosso do Sul. As análises dessas redes revelaram padrões de incidência da doença e permitiram identificar comunidades de incidência.

A análise de agrupamento e as distribuições de graus das redes contribuíram para uma compreensão mais profunda da dinâmica de incidência da dengue, sugerindo que abordagens específicas podem ser necessárias para diferentes municípios.

É razoável afirmar que a aplicação das redes de visibilidade e da análise de agrupamento como procedimento metodológico para investigar a estrutura de redes construídas a partir de séries temporais e classificar os objetos de interesse (i.e., as cidades por suas incidências de dengue) mostrou-se adequada e os resultados podem ser replicados a outras séries temporais.

#### Agradecimentos

Ao suporte da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para CALC (número de concessão 312671/2021-0).

#### 5 REFERÊNCIAS

<sup>1</sup> Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, et al. The global distribution and burden of dengue. **Nature**. 2013;496(7446):504-507. doi:10.1038/nature12060



SimBraRedes

III Simpósio Brasileiro de Teoria  
e Ciência de Redes

- <sup>2</sup> Sacramento RHM, de Carvalho Araújo FM, Lima DM, et al. Dengue Fever and *Aedes aegypti* in indigenous Brazilians: seroprevalence, risk factors, knowledge and practices. **Tropical Medicine & International Health**. 2018;23(6):596-604. doi:10.1111/tmi.13061
- <sup>3</sup> Liu K, Zhu Y, Xia Y, et al. Dynamic spatiotemporal analysis of indigenous dengue fever at street-level in Guangzhou city, China. **PLoS Negl Trop Dis**. 2018;12(3):e0006318. doi:10.1371/journal.pntd.0006318
- <sup>4</sup> Gwee XWS, Chua PEY, Pang J. Global dengue importation: a systematic review. **BMC Infectious Diseases**. 2021;21(1):1078. doi:10.1186/s12879-021-06740-1
- <sup>5</sup> Ratnam I, Leder K, Black J, Torresi J. Dengue fever and international travel. **J Travel Med**. 2013;20(6):384-393. doi:10.1111/jtm.12052
- <sup>6</sup> Redondo-Bravo L, Ruiz-Huerta C, Gomez-Barroso D, Sierra-Moros MJ, Benito A, Herrador Z. Imported dengue in Spain: a nationwide analysis with predictive time series analyses. **Journal of Travel Medicine**. 2019;26(8):taz072. doi:10.1093/jtm/taz072
- <sup>7</sup> WHO. Neglected tropical diseases. 2021. Accessed October 31, 2023. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/neglected-tropical-diseases>
- <sup>8</sup> Leta S, Beyene TJ, De Clercq EM, Amenu K, Kraemer MUG, Revie CW. Global risk mapping for major diseases transmitted by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. **Int J Infect Dis**. 2018;67:25-35. doi:10.1016/j.ijid.2017.11.026
- <sup>9</sup> WHO. Global Strategy for Dengue Prevention and Control 2012-2020 - World | ReliefWeb. August 30, 2012. Accessed May 26, 2023. <https://reliefweb.int/report/world/global-strategy-dengue-prevention-and-control-2012-2020>
- <sup>10</sup> FUNASA. Cronologia Histórica da Saúde Pública - Fundação Nacional de Saúde. 2022. Accessed December 7, 2022. <http://www.funasa.gov.br/cronologia-historica-da-saude-publica>
- <sup>11</sup> Roque DM. Política pública de combate à dengue e os condicionantes socioeconômicos. Published online 2017.
- <sup>12</sup> Prothero RM. Disease and mobility: a neglected factor in epidemiology. **Int J Epidemiol**. 1977;6(3):259-267. doi:10.1093/ije/6.3.259
- <sup>13</sup> Yuan B, Lee H, Nishiura H. Analysis of international traveler mobility patterns in Tokyo to identify geographic foci of dengue fever risk. **Theoretical Biology and Medical Modelling**. 2021;18(1):NA-NA. doi:10.1186/s12976-021-00149-8
- <sup>14</sup> Lana RM, Gomes MF da C, Lima TFM de, Honório NA, Codeço CT. The introduction of dengue follows transportation infrastructure changes in the state of Acre, Brazil: A network-based analysis. **PLOS Neglected Tropical Diseases**. 2017;11(11):e0006070. doi:10.1371/journal.pntd.0006070
- <sup>15</sup> Matusali G, Colavita F, Carletti F, et al. Performance of rapid tests in the management of dengue fever imported cases in Lazio, Italy 2014-2019. **Int J Infect Dis**. 2020;99:193-198. doi:10.1016/j.ijid.2020.07.008
- <sup>16</sup> Oliveira JB, Murari TB, Nascimento Filho AS, Saba H, Moret MA, Cardoso CAL. Paradox between adequate sanitation and rainfall in dengue fever cases. **Science of The Total Environment**. 2023;860:160491. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.160491
- <sup>17</sup> Filho ASN, Murari TB, Ferreira P, Saba H, Moret MA. A spatio-temporal analysis of dengue spread in a Brazilian dry climate region. **Sci Rep**. 2021;11(1):11892. doi:10.1038/s41598-021-91306-z
- <sup>18</sup> Saba H, Moret MA, Barreto FR, et al. Relevance of transportation to correlations among criticality, physical means of propagation, and distribution of dengue fever cases in the state of Bahia. **Science of The Total Environment**. 2018;618:971-976. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.047
- <sup>19</sup> Tsiotas D, Magafas L. The Effect of Anti-COVID-19 Policies on the Evolution of the Disease: A Complex Network Analysis of the Successful Case of Greece. **Physics**. 2020;2(2):325-339. doi:10.3390/physics2020017
- <sup>20</sup> Lacasa L, Luque B, Ballesteros F, Luque J, Nuño JC. From time series to complex networks: The visibility graph. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 2008;105(13):4972-4975. doi:10.1073/pnas.0709247105
- <sup>21</sup> Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**. 2007;11(5):1633-1644. doi:10.5194/hess-11-1633-2007
- <sup>22</sup> Melo D de FP, Fadigas I de S, Pereira HB de B. Graph-based feature extraction: A new proposal to study the classification of music signals outside the time-frequency domain. **PLOS ONE**. 2020;15(11):e0240915. doi:10.1371/journal.pone.0240915
- <sup>23</sup> Gower, J. C. (1971), A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, 27, 623–637.
- <sup>24</sup> INMET. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. 2022. Accessed November 1, 2021. <https://portal.inmet.gov.br/>
- <sup>25</sup> Harapan H, Michie A, Sasmono RT, Imrie A. Dengue: A Minireview. **Viruses**. 2020;12(8):829. doi:10.3390/v12080829