

Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz



Bruna Drumond Silveira

Tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas: Uma proposta metodológica de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue na escala intraurbana

Rio de Janeiro

2023

Bruna Drumond Silveira

Tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas: Uma proposta metodológica de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue na escala intraurbana

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Saúde Pública. Área de concentração: Determinação dos Processos Saúde-Doença: Produção/Trabalho, Território e Direitos Humanos.

Orientador: Prof. Dr. Christovam Barcellos.

Coorientadora: Prof.^a Dra. Claudia Codeço.

Rio de Janeiro

2023

Título do trabalho em inglês: Transmission typologies and epidemiological trajectories: a methodological proposal for stratifying priority areas for dengue control at the intra-urban scale.

O presente trabalho foi realizado com apoio de Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Código de Financiamento 001.

S587t Silveira, Bruna Drumond.
Tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas: uma proposta metodológica de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue na escala intraurbana / Bruna Drumond Silveira. -- 2023.
108 f. : il.color, mapas.

Orientador: Christovam Barcellos.
Coorientadora: Claudia Codeço.
Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2023.
Bibliografia: f. 65-73.

1. Dengue. 2. Análise Espaço-Temporal. 3. Vigilância em Saúde Pública. 4. Medição de Risco. 5. Epidemiologia. I. Título.

CDD 614.571

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Rede de Bibliotecas da Fiocruz com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bibliotecário responsável pela elaboração da ficha catalográfica: Cláudia Menezes Freitas - CRB-7-5348
Biblioteca de Saúde Pública

Bruna Drumond Silveira

Tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas: Uma proposta metodológica de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue na escala intraurbana

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Saúde Pública. Área de concentração: Determinação dos Processos Saúde-Doença: Produção/Trabalho, Território e Direitos Humanos.

Aprovada em: 21 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora

Prof.^a Dra. Raquel Martins Lana
Barcelona Supercomputing Center

Prof. Dr. Rafael de Castro Catão
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof.^a Dra. Laís Picinini Freitas
Université de Montréal

Prof.^a Dra. Mônica de Avelar Figueiredo Mafra Magalhães
Fundação Oswaldo Cruz

Prof.^a Dra. Cláudia Codeço (Coorientadora)
Fundação Oswaldo Cruz

Prof. Dr. Christovam Barcellos (Orientador)
Fundação Oswaldo Cruz

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

Fazer um Doutorado nunca foi tarefa fácil, mas fazer um Doutorado durante todo o governo Bolsonaro e durante uma pandemia trouxe um grau de dificuldade maior para essa empreitada. Apesar dos anos difíceis, o doutorado também me trouxe coisas boas e encontrei pessoas muito generosas ao longo do caminho.

Agradeço à Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública (PPGSP) da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (ENSP), às professoras e professores, pesquisadores, funcionárias e funcionários administrativos. Agradeço também ao CNPq pela bolsa de pesquisa.

Ao meu orientador, Christovam Barcellos e aos integrantes do Núcleo de Geoprocessamento do Laboratório de Informação em Saúde (LIS) do Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICT), meu agradecimento especial pelos aprendizados ao longo desses anos. À minha coorientadora, Claudia Codeço, agradeço sua generosidade, compreensão e exemplo inspirador como professora e pesquisadora.

Aos professores Reinaldo Souza-Santos e Helen Gurgel, agradeço pelas importantes contribuições na qualificação. Um agradecimento especial à Helen por ter facilitado o contato com a Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal (SES-DF) e à servidora Márcia Reis, da Gerência de Informação e Análise de Situação em Saúde (GIASS), por ter nos recebido, cedido os dados e apresentado seu trabalho.

Expresso meus agradecimentos à banca de defesa, professoras Mônica Magalhães, Raquel Lana e Laís Picinini e ao professor Rafael Catão, pela generosidade e contribuições valiosas. Agradeço pela oportunidade de estar com pesquisadores que admiro tanto e que fizeram parte da minha trajetória discutindo o meu trabalho.

À Iasmim Almeida, agradeço por compartilhar seus percursos de pesquisa, pela generosidade e incentivo na elaboração dessa tese. Agradeço também à Elizabeth Leite pelo apoio e pelas trocas tanto na disciplina que fizemos juntas como nos espaços de representação discente na ENSP.

Ao Francco Lima, aos demais colegas de trabalho da VPAAPS, à Remy Hoek Spaans e à equipe do Projeto Harmonize, agradeço pela compreensão diante da minha ausência na reta final dessa tese.

Agradeço aos meus pais, Viviane e Edmar, pelo apoio e pelo incentivo, e aos meus irmãos, Guilherme e Cora, por serem meus companheiros nessa vida. Amo vocês.

Aos meus amigos de Balbúrdia: Ada, Maria Inês, Hugo, Melanie, Francine, Carol e

Francco, agradeço por darem ainda mais sentido aos anos de Doutorado. Obrigada por fazerem essa jornada mais leve, pela força e pelo apoio nos momentos difíceis. Vocês viraram família. Estendo esses agradecimentos também à Keka, Fernando e Ana.

Agradeço à Júlia, que mesmo do outro lado do Atlântico, está sempre por perto e às tarantinas Lara, Fernanda e Mariam, companheiras de carnaval e de pandemia. À Clara, Maryanna, Mariana, Gabriel, Pedro e Bruno agradeço pela permanência e por compreenderem minhas ausências. Obrigada, amigos queridos, por tudo!

Ao meu companheiro, Dennis, agradeço por todo amor, carinho, cuidado e compreensão. Obrigada por estar presente em todos momentos, por acreditar em mim quando eu mesma não acreditava e por fazer minha vida mais feliz.

RESUMO

Nesta tese, apresentamos um modelo de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue na escala intraurbana utilizando indicadores epidemiológicos que abrangem diversos aspectos do comportamento temporal da doença em diferentes áreas da cidade. Esses indicadores foram utilizados para caracterizar tipologias de transmissão da dengue a partir de análise de agrupamentos. Também analisamos as mudanças dessas tipologias ao longo do tempo, caracterizando trajetórias epidemiológicas. Utilizamos como exemplo empírico o Distrito Federal (DF) brasileiro no período 2010 a 2021. Encontramos três tipologias de transmissão da dengue (episódica, epidêmica e persistente) e quatro trajetórias epidemiológicas (episódica, epidêmica, transição e persistente). Das quatro trajetórias predominantes encontradas, três apresentaram um padrão de estabilidade, com Regiões Administrativas (RAs) permanecendo, em grande parte, com as mesmas tipologias de transmissão ao longo dos três períodos de estudo. Apenas um grupo apresentou um processo de transição. As áreas com trajetórias de transmissão persistente e de transição, apesar de menores em número (apenas 32,2% das RAs), registraram 66,71% dos casos acumulados durante todo o período. O estudo propõe uma nova abordagem para entender a dinâmica de transmissão da dengue em espaços urbanos, oferecendo evidências sobre as trajetórias epidemiológicas. Os achados ressaltam a importância de estratégias de controle voltadas para contextos de recursos limitados e a necessidade de seleção de intervenções eficazes e apropriadas. A metodologia apresentada pode ser aplicada em outras áreas urbanas.

Palavras-chave: trajetórias epidemiológicas; tipologias de transmissão; dinâmica espaço-temporal da dengue; modelo de estratificação de risco; vigilância em saúde.

ABSTRACT

In this research, we present a model for stratifying priority areas for dengue control on an intra-urban scale using epidemiological indicators that cover different aspects of the temporal behavior of the disease in different areas of the city. These indicators were used to characterize dengue transmission typologies based on cluster analysis. We also analyzed changes in these typologies over time, characterizing epidemiological trajectories. We used the Brazilian Federal District (DF) as an empirical example from 2010 to 2021. We found three types of dengue transmission (episodic, epidemic, and persistent) and four epidemiological trajectories (episodic, epidemic, transition and persistent). Among the four predominant trajectories found, three presented a pattern of stability, with Administrative Regions (RAs) remaining, mostly, with the same transmission typologies throughout the three study periods. Only one group presented a transition process. Areas with persistent and transitional transmission trajectories, despite being smaller in number (only 32.2% of RAs), recorded 66.71% of the accumulated cases throughout the entire period. The study proposes a new approach to understanding the dynamics of dengue transmission in urban spaces, offering evidence on epidemiological trajectories. The findings highlight the importance of control strategies designed for resource-limited contexts and the need to select effective and appropriate interventions. The presented methodology can be applied in other urban areas.

Keywords: epidemiological trajectories; transmission typologies; spatio-temporal dynamics of dengue; risk stratification model; health surveillance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 1 - | Ciclo de transmissão do vírus da dengue em humanos e mosquitos..... | 14 |
| Figura 2 - | Climograma de Brasília (normais climatológicas de 1981 a 2010)..... | 21 |
| Figura 3 - | Divisão administrativa de Brasília por Regiões Administrativas (RAs)..... | 22 |
| Figura 4 - | Delimitação das áreas de abrangência dos centros de saúde ou “bairros” do SINAN..... | 26 |
| Figura 5 - | Metodologia de análise de tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas..... | 29 |
| Figura 6 - | Número de casos e taxa de incidência de dengue no Distrito Federal por ano epidemiológico..... | 38 |
| Figura 7 - | Histogramas de frequências de valores observados dos indicadores temporais (n = 372)..... | 39 |
| Figura 8 - | Decomposição multiplicativa da série temporal de casos de dengue das Regiões Administrativas de Ceilândia (A) e Sudoeste/Octogonal (B), no período de 2010 a 2021..... | 42 |
| Figura 9 - | Matrizes de correlação dos indicadores temporais..... | 43 |
| Figura 10 - | Matriz de dissimilaridade entre as observações..... | 44 |
| Figura 11 - | Dendrograma das Regiões Administrativas (RAs) considerando os três períodos..... | 45 |
| Figura 12 - | Visualização dos agrupamentos com soluções igual a k=3, 4, 5 e 6..... | 46 |
| Figura 13 - | Largura média de silhueta para soluções de agrupamentos com k = 3, 4, 5 e 6..... | 47 |
| Figura 14 - | Distribuição das variáveis por grupo..... | 50 |
| Figura 15 - | Tipologias de transmissão da dengue no DF em três períodos: 2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021..... | 53 |
| Figura 16 - | Frequência das 8 sequências de tipologias distintas observadas..... | 55 |
| Figura 17 - | Valores de S_i para soluções de agrupamentos de sequências com k = 3, 4 e 5..... | 56 |
| Figura 18 - | Visualização do agrupamento com k = 4..... | 57 |
| Figura 19 - | Grupos de sequências de tipologias..... | 58 |
| Figura 20 - | Distribuição espacial das trajetórias epidemiológicas..... | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 1 - | Tempo aproximado (dias) de viremia, incubação extrínseca e intrínseca da dengue..... | 15 |
| Tabela 2 - | Definição de ano epidemiológico para a dengue no DF..... | 27 |
| Tabela 3 - | Indicadores temporais da dengue..... | 29 |
| Tabela 4 - | Indicadores temporais da RA Águas Claras por ano epidemiológico..... | 32 |
| Tabela 5 - | Médias dos indicadores temporais da RA Águas Claras por período..... | 32 |
| Tabela 6 - | Número de casos e taxa de incidência de dengue no DF por ano epidemiológico..... | 37 |
| Tabela 7 - | Comparações entre os grupos..... | 48 |
| Tabela 8 - | Caracterização das tipologias de transmissão..... | 51 |
| Tabela 9 - | Taxas de transição entre as tipologias..... | 55 |
| Tabela 10 - | Distribuição dos casos acumulados por trajetória epidemiológica..... | 59 |
| Tabela 11 - | Total populacional por trajetória..... | 59 |
| Tabela 12 - | Medidas descritivas da população para o ano de 2015..... | 60 |
| Tabela 13 - | Medidas descritivas da incidência média (2010-2021)..... | 60 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|--|
| ANVISA | Agência Nacional de Vigilância Sanitária |
| CEP | Comitê de Ética em Pesquisa |
| CODEPLAN | Companhia de Planejamento do Distrito Federal |
| DENV | Vírus da dengue |
| DF | Distrito Federal |
| DIVEP | Diretoria de Vigilância Epidemiológica |
| EIP | Período de incubação extrínseca |
| ENSP | Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca |
| GIASS | Gerência de Informação e Análise de Situação em Saúde |
| IPEDF | Instituto de Pesquisa e Estatística do DF |
| IPHAN | Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional |
| MIV | Manejo Integrado de Vetores |
| OM | <i>optimal matching</i> |
| OPAS | Organização Pan-Americana de Saúde |
| PAM | <i>Partitioning Around Medoids</i> |
| PCA | Análise de Componentes Principais |
| RA | Região Administrativa |
| SE | Semana epidemiológica |
| SES-DF | Secretaria de Saúde do Distrito Federal |
| SINAN | Sistema de Informações de Agravos de Notificação |
| SMS | Secretarias Municipais de Saúde |
| SUS | Sistema Único de Saúde |
| SVS | Subsecretaria de Vigilância à Saúde |
| UF | Unidades da Federação |
| UNESCO | Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | PROCESSO DE TRANSMISSÃO DA DENGUE..... | 14 |
| 2.2 | PROCESSOS DE DETERMINAÇÃO E FATORES DETERMINANTES..... | 15 |
| 3 | OBJETIVOS | 20 |
| 3.1 | OBJETIVO GERAL..... | 20 |
| 3.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 20 |
| 4 | MÉTODOS | 21 |
| 4.1 | DESENHO DO ESTUDO..... | 21 |
| 4.2 | ÁREA DE ESTUDO..... | 21 |
| 4.2.1 | Características gerais | 21 |
| 4.2.2 | Produção do espaço urbano em Brasília | 23 |
| 4.3 | DADOS..... | 25 |
| 4.4 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 28 |
| 4.4.1 | Cálculo dos indicadores temporais da dengue | 29 |
| 4.4.2 | Análise exploratória dos indicadores temporais da dengue | 31 |
| 4.4.3 | Caracterização das tipologias de transmissão utilizando análise de cluster.. | 31 |
| 4.4.4 | Caracterização das trajetórias epidemiológicas da dengue utilizando o algoritmo <i>optimal matching</i> para análise de sequências..... | 34 |
| 4.5 | CONSIDERAÇÕES ÉTICAS..... | 36 |
| 5 | RESULTADOS | 37 |
| 5.1 | CARACTERÍSTICAS GERAIS DA DISTRIBUIÇÃO DA DENGUE NO DISTRITO FEDERAL..... | 37 |
| 5.2 | INDICADORES TEMPORAIS DA DENGUE..... | 38 |
| 5.3 | TIPOLOGIAS DE TRANSMISSÃO DA DENGUE..... | 44 |
| 5.4 | TRAJETÓRIAS EPIDEMIOLÓGICAS DA DENGUE..... | 55 |
| 6 | DISCUSSÃO | 61 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 64 |
| | REFERÊNCIAS | 65 |
| | APÊNDICE A – ARTIGO FORMATADO | 74 |
| | APÊNDICE B – MEDIDAS DESCRITIVAS DOS INDICADORES | |

| | |
|-----------------------|------------|
| TEMPORAIS..... | 106 |
| ANEXO A..... | 107 |

1 INTRODUÇÃO

Quarenta anos depois de sua reemergência no Brasil (Osanai *et al.*, 1983), a dengue continua sendo um importante problema de Saúde Pública no país. Atualmente, apesar de ações de prevenção e controle da vigilância em saúde, a doença é hiperendêmica, com a circulação de quatro diferentes sorotipos, sobretudo nas grandes e médias cidades (Barcellos; Lowe, 2014; Lee *et al.*, 2021). Essa conjuntura se tornou ainda mais complexa nos últimos anos, com a emergência da chikungunya, em 2014, e do vírus da Zika, em 2015 (Brasil, 2019b). A rápida expansão dessas arboviroses pelo território nacional provocou epidemias onde já existia transmissão da dengue e, portanto, infestação permanente do seu principal vetor, a fêmea do *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae) (Brasil, 2019b; Lowe *et al.*, 2018).

Esse mosquito utiliza reservatórios artificiais de água como criadouros e encontra, no ambiente urbano, condições ideais para sua reprodução e desenvolvimento, tais como a alta densidade demográfica, os deslocamentos populacionais, problemas de infraestrutura e de acesso a serviços públicos, principalmente nas periferias (Czeresnia; Ribeiro, 2000; Donalísio, 1999; Gubler, 2011). Esses problemas são agravados no contexto de mudanças climáticas e maior ocorrência de eventos extremos (Lowe *et al.*, 2021), representando um grande desafio para o controle da dengue.

A vacina Qdenga, aprovada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), foi integrada ao Sistema Único de Saúde (SUS) em 21 de dezembro de 2023, data da defesa desta tese. A imediata implementação da vacinação tornará o Brasil pioneiro ao disponibilizar a vacina contra a dengue no sistema público de saúde. No entanto, devido à limitação na capacidade de fornecimento do fabricante, a vacinação não será realizada em grande escala, sendo direcionada para regiões e grupos prioritários (Brasil, 2023b). Além disso, os imunizantes não são indicados para crianças menores de 4 anos e idosos acima dos 60, população mais vulnerável aos casos graves da doença (Angelin *et al.*, 2023; Brasil, 2023a; Carvalho; Casemiro; Peixoto, 2023; Laboissière, 2023). Assim, as principais estratégias de prevenção da dengue ainda envolvem o controle do vetor.

Essas estratégias, operacionalizadas pelas Secretarias Municipais de Saúde (SMS), costumam ser localizadas e dificilmente são implementadas em todo o município (OPAS, 2019; Pimenta Junior, 2015). Além disso, muitas dessas ações não consideram a heterogeneidade de padrões de transmissão e de características sociais e ambientais no espaço intraurbano. Diante das limitações de recursos, as gestões locais precisam aplicar estratégias de estratificação de risco para a seleção de intervenções mais adequadas e efetivas (OPAS, 2019; Vanlerberghe *et*

al., 2017).

Existem duas principais abordagens de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue em estudos feitos na escala intraurbana: uma baseada em medidas de incidência da doença (Drumond *et al.*, 2020; Xavier *et al.*, 2017) e outra baseada em medidas de vulnerabilidade. Estas podem variar bastante, mas costumam incluir variáveis entomológicas, demográficas e ambientais (Freitas *et al.*, 2019; Resendes *et al.*, 2010; Romeo-Aznar *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2020, 2022; Siqueira *et al.*, 2022; Vanlerberghe *et al.*, 2017).

Os dados entomológicos muitas vezes não estão disponíveis para todas as áreas ou períodos. Dados demográficos e ambientais podem estar desatualizados ou necessitarem de maiores investimentos financeiros e de recursos humanos. Por outro lado, o uso de dados de casos notificados, apesar de problemas de subnotificação, pode ser uma forma simples e eficaz para a estratificação de áreas de risco. Esses dados estão disponíveis na maioria dos municípios e fazem parte da rotina dos serviços de vigilância em saúde (Vanlerberghe *et al.*, 2017).

Nesta tese, propomos um modelo de estratificação de risco a nível intraurbano utilizando indicadores epidemiológicos que abrangem diversos aspectos do comportamento temporal da doença em diferentes áreas da cidade. Esses indicadores foram utilizados para caracterizar tipologias de transmissão da dengue. Também analisamos as mudanças dessas tipologias ao longo do tempo, caracterizando trajetórias epidemiológicas. Utilizamos como exemplo empírico o Distrito Federal (DF) brasileiro no período 2010 a 2021.

O modelo proposto tem relevância para as atividades de vigilância em saúde e colabora para ampliar a compreensão dos processos endêmicos-epidêmicos ao caracterizar diferentes padrões temporais e espaciais de transmissão da dengue. Utilizando essa metodologia, a gestão local pode selecionar intervenções mais adequadas e efetivas, considerando as particularidades das tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas de cada área. Destacamos também o uso de técnicas de análise temporal e espacial, essenciais para a caracterização dos padrões de transmissão das arboviroses e identificação de áreas prioritárias para o controle.

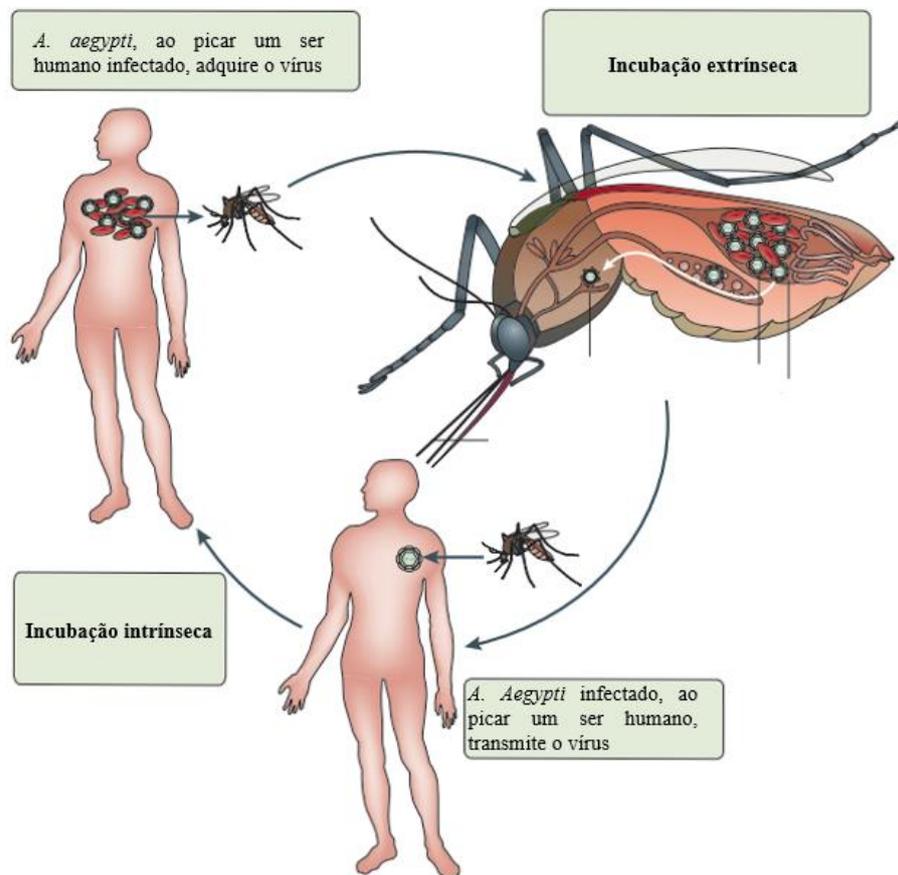
Esta tese está dividida em seções de introdução, referencial teórico, objetivos, métodos, resultados, discussão e considerações finais. No referencial teórico, apresentamos uma revisão de literatura sobre os processos de transmissão, de determinação e os principais fatores determinantes da dengue. Na seção de métodos, apresentamos o desenho do estudo, as características gerais e os processos de produção do espaço urbano da área de estudo, o processo de aquisição e organização do banco de dados e os procedimentos metodológicos em detalhe. No Apêndice A, apresentamos o artigo formatado como uma versão resumida desta tese.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROCESSO DE TRANSMISSÃO DA DENGUE

O processo de transmissão predominante da dengue ocorre a partir da interação de três agentes: o vírus, o vetor e o ser humano (Figura 1). Depois de uma pessoa ter sido picada pelo *Ae. aegypti* infectado, o vírus da dengue passa por um período de incubação intrínseca que varia de 3 a 12 dias até os sintomas se manifestarem (Tabela 1). Durante a fase de viremia, se um *Ae. aegypti* não infectado pica a pessoa, o mosquito pode se infectar. Após um período de incubação extrínseca (EIP) de cerca de 8 a 12 dias, este mosquito torna-se capaz de infectar outros seres humanos (Guzman *et al.*, 2016; WHO, 2023). A duração do EIP é influenciada pela temperatura ambiente, pelo sorotipo e pela concentração viral (Guzman *et al.*, 2016; Tjaden *et al.*, 2013; WHO, 2009, 2023). Embora o mosquito seja o principal transmissor da dengue, há evidências científicas de transmissão vertical entre gestantes e fetos (Basurko *et al.*, 2018; WHO, 2023).

Figura 1 - Ciclo de transmissão do vírus da dengue em humanos e mosquitos



Fonte: Retirado e adaptado de Guzman et al. (2016).

Tabela 1 - Tempo aproximado (dias) de viremia, incubação extrínseca e intrínseca da dengue

| Período | Duração em dias |
|----------------------|------------------------|
| Viremia | 4 a 5 |
| Incubação extrínseca | 8 a 12 |
| Incubação intrínseca | 3 a 12 |

Fonte: (Guzman et al., 2016; WHO, 2009, 2023). Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023

O vírus da dengue (DENV), do gênero *Flavivirus*, pertencente à família *Flaviviridae*, possui quatro diferentes sorotipos: DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4 (WHO, 2023). Um quinto sorotipo (DENV-5) foi identificado num surto na zona rural da Malásia em 2007 (Mustafa *et al.*, 2015). No entanto, não há indícios até o momento de difusão deste sorotipo para outras localidades. Uma vez infectado por um desses sorotipos, o indivíduo torna-se imune a ele. A infecção subsequente por diferentes sorotipos pode vir a provocar a manifestação dos casos mais graves da doença (Guzman *et al.*, 2016; WHO, 2023).

A infecção pelo vírus da dengue pode ser sintomática ou assintomática. Quando sintomática, a doença apresenta um amplo espectro clínico. Nas manifestações mais brandas, os sintomas envolvem febre, exantemas, dores na cabeça e no corpo, com maiores ou menores intensidades. Os sinais de alarmem surgem quando a febre diminui e incluem principalmente fortes dores abdominais e sangramento das mucosas. As formas mais graves se manifestam com o extravasamento do plasma, levando ao choque, comprometendo vários órgãos e o sistema nervoso central, podendo levar o indivíduo a óbito muito rapidamente (Brasil, 2016; Guzman *et al.*, 2016; WHO, 2023).

Pessoas sintomáticas e assintomáticas podem transmitir o vírus aos mosquitos durante o período virêmico. Bhatt *et al.* (2013) estimaram que cerca de 75% das infecções anuais no mundo não apresentam sintomas. Essas infecções, embora não sobrecarreguem os serviços de saúde, não são detectadas pela vigilância, que é passiva e registra apenas casos notificados por esses serviços. Esta subnotificação compromete a avaliação de riscos e provoca falhas nas estratégias de prevenção e controle da doença (Angelo *et al.*, 2020).

2.2 PROCESSOS DE DETERMINAÇÃO E FATORES DETERMINANTES

Alguns processos e fatores podem ser considerados responsáveis pelo aumento da incidência e da dispersão geográfica da dengue na escala global. Entre eles podemos destacar a intensificação da globalização e da urbanização e a falta de controle efetivo do mosquito vetor (Gubler, 2011). O papel das mudanças climáticas e do aumento da temperatura mínima também

tem sido bastante discutido na literatura (Lee *et al.*, 2021; Messina *et al.*, 2015, 2019).

A intensificação da globalização e da urbanização, em meados do século XX, promoveu um aumento dos fluxos de conhecimento, capital, *commodities*, pessoas, animais e doenças (Gubler, 2011). Com o aumento das viagens aéreas, os deslocamentos de pessoas infectadas colaboraram para a disseminação dos vírus em áreas onde já havia a presença do vetor (Gubler, 2011; Lana *et al.*, 2017). Em 2011, todo o mundo tropical poderia ser considerado como hiperendêmico, com os quatro sorotipos co-circulando nas grandes cidades (Gubler, 2011), que têm um papel importante na produção, manutenção e na difusão dos vírus (Barcellos; Lowe, 2014; Gubler, 2004).

O processo de aceleração da urbanização nas Américas coincidiu com a reinfestação do continente pelo *Ae. aegypti* e pela reemergência da dengue. Durante as décadas de 1950 e 1960, o mosquito havia sido considerado erradicado do continente americano devido às campanhas de controle da febre amarela urbana. Porém, com o fim desses programas, no início dos anos 1970, o *Ae. aegypti* reinfestou a região. O combate ao mosquito, nesse momento, foi marcado pela aplicação de inseticidas, uma estratégia pouco eficaz porque o alvo era o vetor adulto, que costuma ficar dentro das casas, onde o inseticida tem pouco alcance. Esse contexto, combinado ao expressivo crescimento urbano, promoveu as condições ecológicas favoráveis para o *Ae. aegypti*, facilitando a sobrevivência dos vírus e a transmissão endêmica da dengue (Gubler, 2011).

O favorecimento da transmissão nas grandes cidades decorre da forma de organização da sociedade no espaço urbano, com altas concentrações populacionais, diferentes tipos de ocupação e deslocamentos internos (Czeresnia; Ribeiro, 2000; Donalísio, 1999). Nas periferias, ações individuais de prevenção como “não deixar água parada” e “não deixar o lixo acumular” são limitadas pelo alcance das políticas públicas de saneamento. Em estudo sobre condições e experiências de vida relacionadas à epidemia de dengue na região da Leopoldina, no Rio de Janeiro, Oliveira e Valla (2001) mostraram que a região conta com bons indicadores de cobertura da rede geral de abastecimento de água. No entanto, os moradores relatam que, no verão, o serviço de abastecimento de água chega a ser interrompido por até 15 dias (Oliveira; Valla, 2001).

Neste contexto, as famílias mais antigas e com melhor renda familiar conseguem ter uma infraestrutura para armazenar água em cisternas, conseguindo ter água por mais tempo. Essas famílias costumam socorrer as que possuem menor renda, que armazenam água em latas e outros recipientes que podem favorecer a procriação do vetor (Oliveira; Valla, 2001). Em outro contexto, San Pedro *et al.* (2009) observaram que, na Região Oceânica de Niterói, tanto

a escassez quanto a abundância de recursos financeiros estavam relacionados a práticas de estocagem de água. O primeiro devido a restrições de consumo e o segundo relacionado a piscinas em casas de veraneio. Nesse mesmo estudo, em áreas classificadas como de baixa infraestrutura habitacional e baixo acesso à rede geral de abastecimento, os moradores que possuíam poços distribuíam água aos demais, que estocavam em galões, baldes e tonéis (San Pedro *et al.*, 2009).

Assim, a precariedade de infraestrutura e a intermitência do abastecimento de água resultam como um dos principais fatores associados a dengue no espaço intraurbano. Além dos estudos de Oliveira e Valla (2001) e San Pedro *et al.* (2009), Cordeiro *et al.* (2011) também encontraram associação positiva entre altas taxas de incidência de dengue e práticas de estocagem de água nos domicílios entre outubro de 2006 e setembro de 2007 no Distrito Sul do município de Campinas, estado de São Paulo. Quanto ao acesso à rede geral de abastecimento de água, alguns estudos mostraram correlação estatística significativa com indicadores relacionados ao acesso à rede (Mondini; Chiaravalloti-Neto, 2008; Resendes *et al.*, 2010; Teixeira; Medronho, 2008). Outros estudos não conseguiram demonstrar essa associação de maneira satisfatória (Machado; Oliveira; Souza-Santos, 2009; Souza; Barata, 2012) possivelmente porque, apesar de algumas localidades apresentarem um alto percentual de acesso à rede geral de abastecimento de água, podem sofrer com paralisações ou interrupções deste sistema (Lowe *et al.*, 2021; Oliveira; Valla, 2001). Desse modo, não se trata apenas do acesso à rede de abastecimento de água, mas da qualidade e continuidade deste serviço.

Além do acesso à água, outros fatores relacionados ao saneamento, como esgotamento sanitário e serviço de coleta de lixo podem ser bastante relevantes para a produção e persistência dessas endemias nos espaços intraurbanos. Cordeiro *et al.* (2011) encontraram associação positiva entre o aumento da incidência de dengue e baixa frequência na coleta de lixo e falta de saneamento básico. Flauzino *et al.* (2009) também encontraram concentração de casos em áreas de favelas, com baixo percentual de domicílios com coleta de lixo.

As características da habitação também podem atuar como fatores de proteção ou de risco para a dengue. O apartamento foi considerado como um fator de proteção para a dengue em muitos estudos (Barreto *et al.*, 2008; Cunha *et al.*, 2008; Flauzino *et al.*, 2009; Mondini; Chiaravalloti-Neto, 2008; Resendes *et al.*, 2010; Teixeira *et al.*, 2013). Barcellos *et al.* (2005) apontam que potenciais criadouros para o vetor, como vasos, pneus e garrafas são mais frequentes em casas e seus quintais do que em apartamentos. Indicadores relacionados à presença de favelas ou aglomerados subnormais também apresentam um risco maior para dengue quando comparado a outras áreas em diversos estudos (Carvalho; Magalhães;

Medronho, 2017; Resendes *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2020; Souza; Barata, 2012).

Estudos com diferentes desenhos metodológicos utilizam a variável renda como indicador de acesso aos serviços de saneamento e condições de vida, mas nem sempre encontram as mesmas associações. Em um inquérito epidemiológico que buscou determinar e quantificar a infecção pelo vírus da dengue em Belo Horizonte, Cunha *et al.* (2008) encontraram uma associação positiva entre baixa renda e maior soropositividade. San Pedro *et al.* (2009), por sua vez, identificaram áreas com incidências semelhantes de dengue, mas com diferentes faixas de renda. A partir disso, buscaram analisar os determinantes particulares de produção e reprodução da doença nessas localidades, que também apresentavam uma heterogeneidade socioespacial, caracterizada pela coexistência de moradias de alto e baixo padrão de infraestrutura habitacional (San Pedro *et al.*, 2009).

Em estudo de revisão, Mulligan *et al.* (2015) encontraram associações positivas, negativas e nulas entre indicadores de pobreza e dengue. Esses autores também destacaram a diversidade de medidas e escalas para capturar as condições de pobreza nesses estudos, o que dificulta a verificação da consistência dessas associações entre pobreza e dengue. Louis *et al.* (2014), em outro estudo de revisão, também destacaram a falta de padronização de preditores de risco para dengue e a variedade de métodos e modelos de análise, o que, por um lado, poderia explicar os diferentes resultados encontrados, mas também mostra que esse campo de pesquisa está em constante avanço.

A literatura também aponta a heterogeneidade espacial de condições de vida como um fator importante para explicar a distribuição da dengue no espaço intraurbano. Essa heterogeneidade pode ser responsável pelo compartilhamento do risco de infecção pelos vírus devido à proximidade dos diferentes tipos de habitação, às diversas práticas de estocagem de água, pela circulação de pessoas infectadas na vizinhança e pela capacidade de voo do vetor (Flauzino *et al.*, 2009; Flauzino; Souza-Santos; Oliveira, 2009; Resendes *et al.*, 2010; San Pedro *et al.*, 2009). O raio de dispersão do vetor, que pode chegar a 800 metros (Honório *et al.*, 2003; Reiter *et al.*, 1995), também é utilizado para explicar as maiores incidências em áreas com maiores densidades demográficas e maior número de pessoas por domicílio (Teurlai *et al.*, 2015).

A mobilidade, a quantidade de fluxo e acessibilidade das áreas também costumam ser relacionadas a um maior risco para dengue e para refletir esses fatores são utilizados diferentes indicadores. Cao *et al.* (2017) encontraram associação positiva entre densidade de vias e incidência da doença. Santos *et al.* (2020), por meio de indicadores de número de vizinhos e perímetro de limite entre os bairros, mostraram que a conectividade entre bairros estava

associada a um maior risco para dengue.

Entre as variáveis climáticas, temperatura e precipitação são preditores muito utilizados para estimar o risco de arboviroses (Louis *et al.*, 2014). Na escala intraurbana, a temperatura, associada a outras variáveis de uso e ocupação do solo, costuma caracterizar ilhas de calor, consideradas *hotspots* para dengue e outras doenças transmitidas por vetores (Araujo *et al.*, 2015; Marti *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2020).

De maneira geral, a sazonalidade da temperatura e das chuvas também influenciam na sazonalidade das arboviroses. Apesar disso, nem sempre a precipitação está diretamente relacionada a ocorrência de arboviroses. Um estudo sobre os efeitos do clima e ocorrência de surtos de dengue no Brasil mostrou que tanto os períodos de chuvas intensas quanto as secas aumentam a incidência de dengue. No caso das secas, esse efeito é sentido após 3 a 5 meses depois do evento, principalmente em áreas urbanas, possivelmente devido a interrupções do abastecimento de água e o uso de reservatórios improvisados que servem como locais de reprodução dos vetores (Lowe *et al.*, 2021).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma metodologia de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue no espaço intraurbano a partir da caracterização de tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas, tendo como exemplo empírico o Distrito Federal (DF) brasileiro no período de 2010 a 2021.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar tipologias de transmissão da dengue nas RAs do DF em três momentos: 2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021;
- Caracterizar as trajetórias epidemiológicas da dengue nas RAs do DF no período de 2010 a 2021

4 MÉTODOS

4.1 DESENHO DO ESTUDO

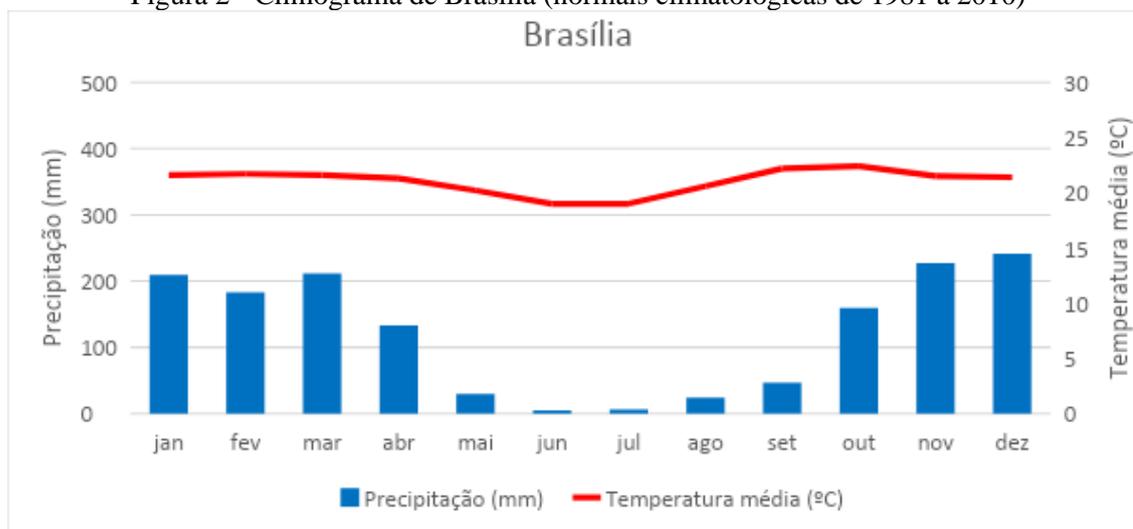
O desenho metodológico desta tese é um estudo ecológico de abordagem espaço-temporal. Analisamos a distribuição de dados de casos prováveis de dengue no Distrito Federal (DF) de 2010 a 2021. Utilizamos a Região Administrativa (RA) de residência como unidade espacial de análise e a semana epidemiológica (SE) como unidade temporal de análise.

4.2 ÁREA DE ESTUDO

4.2.1 Características gerais

O DF está localizado no bioma Cerrado, a 15°46'47" de Latitude Sul e a 47°55'47" de Longitude Oeste, ocupando uma área de 5.706,784 km². Seu relevo é caracterizado pelo predomínio de chapadas e a altitude varia de 950 m a 1400 m (Castro; Lima, 2020). O clima é caracterizado como Tropical do Brasil Central, marcado por uma expressiva sazonalidade da precipitação, com um verão prolongado chuvoso, que vai de outubro a abril, e um inverno prolongado seco. Nos meses de junho e julho, a precipitação chega próximo de 0 mm (Figura 2). No inverno há também uma expressiva amplitude térmica diária, com dias mais quentes e noites frias (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007). A precipitação anual acumulada é de 1477 mm. A temperatura máxima média de 26,6°C e a temperatura mínima média é de 16,8°C (INMET, 2021).

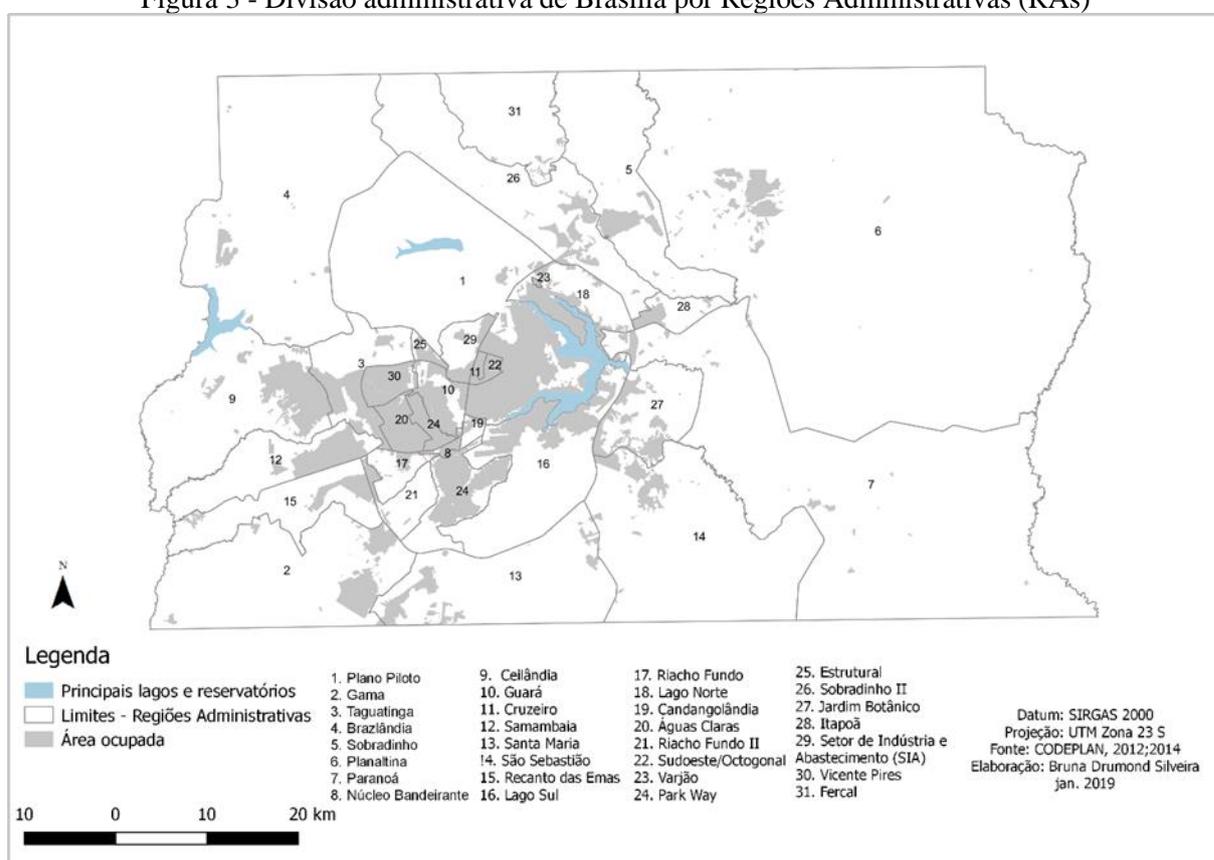
Figura 2 - Climograma de Brasília (normais climatológicas de 1981 a 2010)



Fonte: INMET, 2021. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2021.

Localizado na Região Centro-Oeste, o Distrito Federal possui um único município, Brasília. Esse território está organizado atualmente em 35 Regiões Administrativas (RAs)¹ (GDF, 2023). No entanto, 4 delas foram criadas e delimitadas no final do nosso período de estudo: Sol Nascente/Pôr do Sol e Arniqueiras, em 2019, e Arapoanga e Água Quente, em 2022, foram desmembradas de Ceilândia, Águas Claras, Planaltina e Recanto das Emas, respectivamente. No final de 2018, houve uma alteração dos limites da RA Jardim Botânico, que passou a incluir áreas antes pertencentes às RAs São Sebastião e Santa Maria (GDF, 2023; Maniçoba, 2019). Para a preservar a série histórica dos dados, nós consideramos para análise apenas as 31 RAs que tinham sido oficialmente criadas até 2018 (Figura 3).

Figura 3 - Divisão administrativa de Brasília por Regiões Administrativas (RAs)



Legenda: Os limites das RAs estão delimitados pelos polígonos com borda cinza. Os polígonos com preenchimento cinza representam as áreas ocupadas. Em azul, estão os principais reservatórios de água. As demais áreas, em branco, são áreas agrícolas ou de preservação ambiental. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2019.

¹ De acordo com a Lei Orgânica do Distrito Federal de 1993, o Distrito Federal está organizado em Regiões Administrativas, “com vistas à descentralização administrativa”. De acordo com essa mesma Lei, Brasília, Capital Federal, é a sede do Governo do Distrito Federal e a este são atribuídas as competências legislativas reservadas aos Estados e Municípios (Lei Orgânica do Distrito Federal, 1993).

A população no censo de 2022 era de 2.817.381 pessoas (IBGE, 2023) e sua densidade demográfica 489,06 habitante por km². No que se refere a renda, em Brasília, o salário médio mensal dos trabalhadores formais é de R\$ 2.913,00 (IBGE, 2022). Brasília também possui os melhores indicadores de qualidade de vida do país, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,814 (PNUD; FJP; IPEA, 2021) e uma taxa de mortalidade infantil de 8,53 óbitos por mil nascidos vivos (Brasil, 2019a).

Quanto às condições de habitação, nos dados do Censo Demográfico de 2010, Brasília tinha em média 3,3 moradores por domicílio. O percentual de domicílios com esgotamento sanitário adequado era de 87,9% e 95,11% tinham acesso à rede geral de abastecimento de água. O percentual de domicílios urbanos em vias públicas com arborização era de 36,9% e 5,22% da população vivia em favelas e comunidades urbanas (aglomerados subnormais) (IBGE, 2011).

4.2.2 Produção do espaço urbano em Brasília

Brasília possui características particulares por ter sido uma cidade planejada para ser a capital do país e por possuir um traçado urbano com especificações de uso do solo. Apesar disso, a cidade não deixa de ter problemas semelhantes a outras cidades brasileiras, como a segregação espacial, produto de um processo de urbanização desigual. No contexto da urbanização brasileira, Brasília surge numa fase de interiorização da população e do crescimento da indústria automobilística, passando a ocupar uma localização estratégica ao integrar a Região Sudeste ao Centro-Oeste e Norte do país (Ferreira, 2010).

Durante a construção da nova capital, há uma grande atração de migrantes nacionais, vindo em sua maioria da Região Nordeste e do interior do estado de Goiás, em busca de trabalho. No entanto, no Plano Piloto projetado por Lucio Costa não havia espaço destinado para esses migrantes, que passam a habitar “invasões” e “acampamentos no espaço em construção” (Ferreira, 2010, p. 72). Esse tipo de ocupação, ilegal e irregular, não foi tolerado por muito tempo nas áreas centrais da cidade. No *Relatório do Plano Piloto de Brasília*, o arquiteto afirma que em Brasília não seria permitida a “enquistação de favelas”. Diz ainda que “cabe à Companhia Urbanizadora prover dentro do esquema proposto acomodações decentes e econômicas para a totalidade da população” (Costa, [s. d.]). Como solução para impedir o crescimento desordenado, foram criados núcleos periféricos para abrigar essa população “excedente”, conformando-se uma cidade polinucleada (Paviani, 2007). “Inicia-se, então, um processo de seletividade espacial e de segregação” (Ferreira, 2010, p. 73).

Na década de 1970, a periferia já abrigava 66% da população urbana do DF. Essa população dependia do Plano Piloto para o trabalho e para demais atividades, gerando um movimento pendular diário entre o centro e a periferia que se perpetua até hoje. Na década seguinte, os núcleos passam a ser chamados de “cidades satélites” e chegam a abrigar 75% da população do DF. A partir desse momento, a periferia passa a abrigar uma classe média que já não conseguia se estabelecer na área central devido à limitação de adensamento do Plano Piloto (Paviani, 2007).

Na última década do século XX e na primeira do século XXI, houve um acelerado processo de expansão da área urbana no Distrito Federal, com o surgimento de novas áreas residenciais. Novas “cidades” foram criadas para uma classe média menos abastada, como foi o caso de Águas Claras e surge uma quantidade expressiva de loteamentos irregulares ocupados por diferentes estratos sociais (Patriota de Moura; Januzzi, 2019). Esses “condomínios” estão muitas vezes localizados em áreas consideradas frágeis do ponto de vista ambiental, hídrico ou de preservação do patrimônio tombado (Paviani, 2007) e são tidos como parte de um “crescimento desordenado”, uma contradição ao ordenamento da cidade planejada (Patriota de Moura; Januzzi, 2019).

Em 1987, Lucio Costa apresentou o documento *Brasília Revisitada* (Costa, 1987). Esse documento contribuiu para a inscrição do Plano Piloto de Brasília na Lista do Patrimônio Mundial da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) e seu posterior tombamento pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), que passa a interferir diretamente na gestão local da área tombada. A partir de então, os governos do Distrito Federal passam a ter uma estratégia comum de “preservar Brasília”, utilizando o planejamento urbano de maneira ideológica e agravando a segregação espacial (Medeiros; Campos, 2010).

Nesse texto, Lucio Costa propôs o adensamento urbano dentro da bacia do Paranoá para “responder uma demanda” das camadas médias por habitação, com o intuito de resolver, entre outros problemas, o adensamento populacional “desordenado”. Essas novas áreas residenciais teriam um desenho urbanístico semelhante ao do projeto inicial, com “superquadras”. Entre os novos bairros propostos, estava o que viria a ser o atual Setor Noroeste, aprovado para a construção no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT) de 2009. Com a aprovação do novo Plano Diretor, o novo setor de superquadras foi incluído na Região Administrativa (RA) do Plano Piloto (Patriota de Moura; Januzzi, 2019). Patriota de Moura e Januzzi (2019) destacam que o “Noroeste não somente foi aprovado pelo PDOT, como o próprio plano foi proposto, em grande medida, para permitir a construção daquele bairro”, que

tinha uma clientela composta por, “no mínimo”, estratos médios.

Paralelamente a esse processo, a “periferia inicial, espaço das camadas segregadas da população”, passa a “se reproduzir agora fora dos limites do DF” (Ferreira, 2010, p. 79), no chamado “entorno” goiano (Paviani, 2007). Em *Brasília Revisitada*, Lucio Costa diz que a “Brasília não interessa ser grande metrópole” e sugere um controle do adensamento urbano “a fim de não desvirtuar a função primeira – político-administrativa – que lhe deu origem”(Costa, 1987). Apesar disso, um dos principais problemas urbanos enfrentados por Brasília atualmente é o de integração entre as agora chamadas Regiões Administrativas (RAs) do Distrito Federal e os municípios goianos vizinhos que constituem a Área Metropolitana de Brasília (AMB) e da Região Integrada de Desenvolvimento Econômico (RIDE). A estrutura urbana de Brasília se mantém, até o momento presente, fragmentada e dispersa, com baixas densidades e fortes problemas de acessibilidade entre moradia, trabalho e serviços. Há uma centralidade significativa do Plano Piloto, do qual dependem as demais áreas (Holanda *et al.*, 2015).

4.3 DADOS

Nesta pesquisa, utilizamos dados de casos de dengue provenientes do Sistema de Informações de Agravos de Notificação (SINAN). O SINAN desempenha um papel fundamental na coleta e processamento de dados sobre agravos de notificação compulsória em todo o Brasil. Essas informações são de grande relevância para o planejamento e gestão dos serviços de saúde, fornecendo suporte para as atividades de vigilância (Brasil, 2009).

Em agosto de 2022, fizemos uma visita técnica à Gerência de Informação e Análise de Situação em Saúde (GIASS) da Diretoria de Vigilância Epidemiológica (DIVEP), Subsecretaria de Vigilância à Saúde (SVS), da Secretaria de Saúde do DF (SES-DF). Essa visita foi essencial para obter os dados e entender as especificidades do preenchimento da ficha de notificação e do banco de dados de casos de dengue no DF.

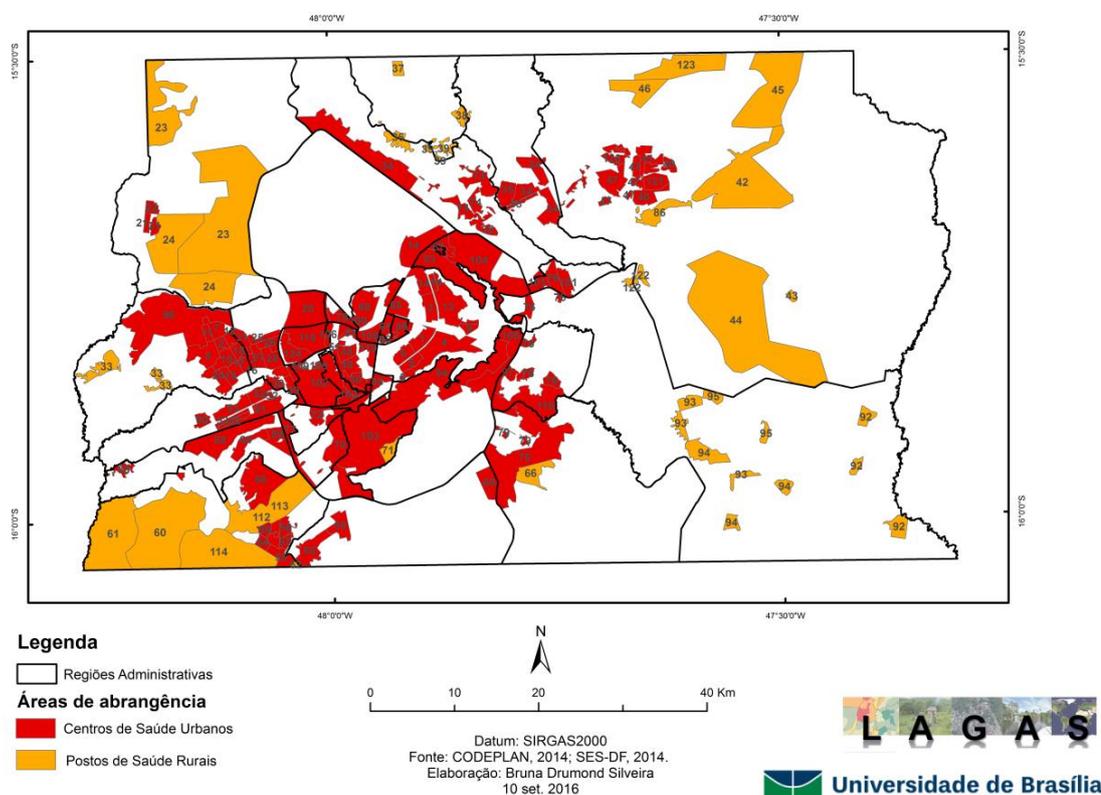
Obtivemos o banco de dados de casos notificados entre 1º de janeiro de 2009 e 31 de dezembro de 2021. Esses dados são anonimizados, mas com informações de endereço e todas as outras informações da ficha de notificação. Consideramos para a análise os casos suspeitos e confirmados por critério laboratorial ou clínico-epidemiológico, com exceção dos descartados por diagnóstico laboratorial negativo. Também retiramos os casos classificados como importados, os de residentes de outras UFs e aqueles sem preenchimento dos campos que informam o local de residência.

O banco contém um campo com informação de bairro. No entanto, como essa unidade

político-administrativa não é utilizada pela administração pública do DF, tão pouco reconhecida pelos seus moradores, a SES-DF preenchia esse campo até 2019 com a informação da área de abrangência do centro de saúde que contém a residência do indivíduo acometido pela doença

Esses “bairros” ou áreas de abrangência de centros de saúde não possuíam uma delimitação cartográfica oficial. No entanto, foram delimitados em trabalhos anteriores (Silveira *et al.*, 2017; Siqueira *et al.*, 2017) a partir de uma lista de logradouros e localidades pertencentes à cada área disponibilizada pela SES-DF e imagens do *GoogleMaps*, do *Open Street Map* e da plataforma *Wikimapia* para a vetorização das áreas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (Figura 4).

Figura 4 - Delimitação das áreas de abrangência dos centros de saúde ou “bairros” do SINAN



Fonte: SES-DF, 2014; Silveira *et al.*, 2017.

Essa delimitação possui limitações. A principal delas é não considerar os limites dos setores censitários, o que fragiliza o cálculo de indicadores a partir de dados do censo demográfico. Além disso, a representação cartográfica em polígonos não contíguos dificulta as análises espaciais de relações de vizinhança. Essa delimitação também não inclui novas áreas habitacionais mais recentes.

Apesar disso, a delimitação desses “bairros” respeita os limites das 31 RAs existentes

em 2014, o que justificou a escolha dessa unidade espacial para análise da dengue no DF. A partir de 2020, o campo bairro do SINAN passa a ser preenchido com outra codificação.

O campo ID_DISTRITO, que até então era preenchido com a informação da RA de residência, passa a ser preenchido com um código de localidade. Trata-se de uma nova delimitação, elaborada pela antiga CODEPLAN, atual Instituto de Pesquisa e Estatística do DF (IPEDF), a partir de agrupamentos de setores censitários. Essa nova delimitação facilitará futuros estudos epidemiológicos e populacionais no DF, que poderão contar com uma unidade espacial de análise menor do que a RA, representando com mais precisão as heterogeneidades contidas em cada uma delas.

Quanto à unidade temporal de análise, os dados foram agrupados por semana epidemiológica de primeiros sintomas. Para o posterior cálculo dos indicadores temporais da dengue, atribuímos aos casos um ano epidemiológico. Trata-se de uma adaptação em que a análise, ao invés de respeitar a delimitação do ano calendário (de janeiro a dezembro), busca coincidir com a curva epidêmica da dengue.

Definimos o ano epidemiológico para a dengue no DF começando na segunda semana epidemiológica de outubro e terminando na primeira semana de outubro do ano seguinte (Tabela 2). Dessa maneira, por exemplo, o ano epidemiológico de 2010 começa na semana epidemiológica 41 do ano calendário de 2009 e termina na semana epidemiológica 40 do ano calendário de 2010.

Tabela 2 - Definição de ano epidemiológico para a dengue no DF

| Ano | Semanas | Meses |
|---------------------------|----------------|--------------------|
| Ano calendário | 1 a 52 ou 53 | janeiro a dezembro |
| Ano epidemiológico | 41 a 40 | outubro a outubro |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Definições semelhantes foram utilizadas por Lana *et al.* (2017), que definiu o ano epidemiológico para dengue nos municípios do estado do Acre como o período entre julho de um ano e junho do ano seguinte. Almeida, Lana e Codeço (2022) definiram o ano epidemiológico para a dengue em municípios de diferentes Regiões do Brasil começando na última semana de setembro de um ano e terminando na penúltima semana de setembro do ano seguinte.

Esse corte na semana 40 foi escolhido porque em 6 dos 12 anos de estudo, o mês de outubro é o mês com menor número de casos, que começa a aumentar em novembro. Nos outros anos, o mês com menor número variou entre agosto, setembro, novembro e dezembro. Cabe

mencionar ainda que nos anos com 53 semanas (2014 e 2020), os casos com primeiros sintomas na semana 53 foram contabilizados na semana 52 do mesmo ano ou na semana 1 do ano seguinte, a depender da data exata dos primeiros sintomas no campo DT_SIN_PRI do banco de dados notificados.

As estimativas populacionais por RA para cada ano do período de estudo foram obtidas pelo estudo Projeções populacionais por Regiões Administrativas do Distrito Federal 2010-2020 elaborado pela então CODEPLAN (CODEPLAN, 2020).

4.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa apresenta uma proposta metodológica de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue no espaço intraurbano a partir da caracterização de tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas, tendo como exemplo empírico o Distrito Federal (DF) brasileiro no período de 2010 a 2021. Para atingir esse objetivo, tivemos duas principais referências metodológicas.

A primeira trata-se de um conjunto de estudos de Geografia Urbana que analisam trajetórias de mudanças socioeconômicas de bairros em diferentes cidades a partir de análise de agrupamentos de sequências longitudinais de tipologias urbanas. Entre esses trabalhos podemos destacar os de Delmelle (2016, 2022) e o de Greenlee (2019).

A segunda é o método proposto por Almeida, Lana e Codeço (2022). Essas autoras propuseram uma coleção de descritores epidemiológicos de séries temporais de dengue para caracterizar perfis de transmissão da doença em municípios de seis estados brasileiros no período entre 2010 e 2019. Elas utilizaram análise de agrupamentos e obtiveram quatro perfis de transmissão: episódico, episódico-epidêmico, epidêmico e transmissão persistente.

Neste estudo, nós utilizamos os descritores epidemiológicos propostos por Almeida, Lana e Codeço (2022), que aqui chamaremos de *indicadores temporais*, para caracterizar *tipologias de transmissão* da dengue no espaço intraurbano do Distrito Federal. Para isso, nós também utilizamos análise de agrupamentos. Porém, dividimos os 12 anos do período de estudo em 3 períodos de 4 anos (2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021), criando uma *sequência de tipologias transversais*, semelhante ao proposto por Delmelle (2016) e Greenlee (2019).

Essas sequências de tipologias formam uma unidade: a *trajetória*. As trajetórias dominantes foram obtidas a partir de uma segunda análise de agrupamentos, desta vez utilizando as sequências de tipologias como observações (*input*). Ao final, conseguimos analisar as mudanças ocorridas nas dinâmicas de transmissão da dengue ao longo de todo o

período nas RAs do DF.

A Figura 5 abaixo apresenta a metodologia de análise desenvolvida para a análise das tipologias de transmissão e das trajetórias epidemiológicas. Nos tópicos a seguir, detalhamos o passo-a-passo dos procedimentos metodológicos realizados para atingir os objetivos geral e específicos. Todas as análises foram feitas com o *software R 4.3.1* (R Core Team, 2023).

Figura 5 - Metodologia de análise de tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas



Legenda: A figura acima apresenta a metodologia desenvolvida para análise das tipologias de transmissão e das trajetórias epidemiológicas. Os octógonos representam os inputs/outputs e os retângulos representam as técnicas utilizadas. Elaboração: Bruna Drumond Silveira, 2023.

4.4.1 Cálculo dos indicadores temporais da dengue

Para caracterizar tipologias de transmissão da dengue das RAs do DF, primeiramente construímos indicadores temporais (Tabela 3). Índices e indicadores temporais são abordagens que caracterizam séries temporais de casos de doenças de forma simples e com fácil aplicação em atividades de vigilância (Louis *et al.*, 2014). Esse tipo de estudo permite estimar o risco de dengue e outras doenças para além das taxas de incidência, permitindo identificar, por exemplo, quando uma epidemia se iniciou, quanto tempo durou e onde há persistência de casos mesmo em quantidades pequenas (Wen *et al.*, 2006).

Tabela 3 - Indicadores temporais da dengue

| Indicadores | | Definição | Unidade de medida |
|------------------------------|------------|---|-------------------------|
| Amplitude do pico | Xp | Valor máximo de casos por semana em um ano epidemiológico. | Casos |
| Tempo do pico | Tp | Semana epidemiológica na qual a série atinge o valor de Xp. | Semana epidemiológica |
| Duração do período com casos | Dc3 | Frequência de pelo menos três semanas consecutivas com cinco ou mais casos de dengue durante um ano epidemiológico. | Adimensional (contagem) |
| | Dc6 | Frequência de pelo menos seis semanas consecutivas | Adimensional (contagem) |

| | | | |
|--|-------------------------|--|---|
| | | com cinco ou mais casos de dengue durante um ano epidemiológico. | |
| | D_{max} | Número máximo de semanas consecutivas dentro um ano epidemiológico com cinco ou mais casos de dengue. | Semana epidemiológica com cinco ou mais casos de dengue |
| | D_{med} | Duração mediana do período de semanas consecutivas com cinco ou mais casos de dengue em um ano epidemiológico. | Semana epidemiológica com cinco ou mais casos de dengue |
| | D_{ci} | Frequência de semanas isoladas com cinco ou mais casos de dengue durante um ano epidemiológico. | Semana epidemiológica isolada com cinco ou mais casos de dengue |
| Duração do período sem casos | D_{s3} | Frequência de pelo menos três semanas consecutivas sem casos de dengue durante um ano epidemiológico. | Adimensional (contagem) |
| | D_{s6} | Frequência de pelo menos seis semanas consecutivas sem casos de dengue durante um ano epidemiológico. | Adimensional (contagem) |
| | D_{smax} | Número máximo de semanas consecutivas dentro um ano epidemiológico sem casos de dengue. | Semana epidemiológica sem casos de dengue |
| | D_{smed} | Duração mediana do período de semanas consecutivas sem casos de dengue em um ano epidemiológico. | Semana epidemiológica sem casos de dengue |
| Frequência de semanas positivas | P₊ | Frequência de semanas epidemiológicas com cinco ou mais casos de dengue por ano epidemiológico. | Semana epidemiológica com cinco ou mais casos de dengue |
| Razão de tendência/sazonalidade | ST | Razão entre a amplitude do componente de tendência e a amplitude do componente de sazonalidade obtida a partir da decomposição multiplicativa da série temporal. | Adimensional |

Fonte: Adaptado de Almeida, Lana e Codeço (2022).

Na literatura, encontramos alguns trabalhos que utilizaram índices e indicadores para estimar o risco e caracterizar dinâmicas temporais da dengue. Em geral, esses índices e indicadores dizem respeito à duração e intensidade de casos e de epidemias (Galli; Chiaravalloti

Neto, 2008; Wen *et al.*, 2006, 2010).

Algumas pesquisas também utilizam indicadores de tempo ou momento do pico da série, que são úteis para identificar, a nível local, onde a transmissão se inicia e para onde se propaga. O tempo do pico também pode ser uma informação importante para estimar a intensidade e a duração esperada de uma epidemia ou uma possível recorrência em anos seguintes (Drumond *et al.*, 2020; Xavier *et al.*, 2017).

Nesta tese, utilizamos os 13 indicadores temporais propostos por Almeida; Lana; Codeço (2022). Calculamos esses indicadores para cada uma das 31 RAs e cada um dos 12 anos epidemiológicos, totalizando 372 observações. A escolha do limiar de 5 casos para indicar uma semana com transmissão sustentada baseou-se no modelo conceitual que estima a probabilidade de propagação da dengue a nível local, em Porto Alegre (Marques-Toledo *et al.*, 2019).

Os indicadores utilizados abrangem medidas de magnitude dos casos (X_p), tempo/momento do pico da série temporal (T_p), duração de períodos com (D_{c3} , D_{c6} , D_{cmax} , D_{cmed} e D_{ci}) e sem casos (D_{s3} , D_{s6} , D_{smax} e D_{smed}) notificados, bem como a análise da sazonalidade e tendência da série temporal de casos (ST).

4.4.2 Análise exploratória dos indicadores temporais da dengue

Após calcularmos os indicadores, realizamos uma análise exploratória. Esta etapa envolveu o cálculo de medidas descritivas, a elaboração de histogramas e a realização do teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade da distribuição. Em seguida, padronizamos os indicadores utilizando a técnica *Z-score* (média zero e desvio padrão igual a 1) para que todos passassem a ter a mesma escala e pudessem ser comparados.

Posteriormente, utilizamos a Matriz de Correlação de Pearson, elaborada com auxílio do pacote *corrplot* (Wei *et al.*, 2021), para verificar a multicolinearidade entre os indicadores padronizados. Os indicadores que apresentaram coeficiente de correlação (r) maior ou igual a 0,80 foram analisados e 3 deles foram retirados das análises subsequentes. Assim, ficamos com 10 indicadores temporais. Os mesmos procedimentos foram adotados e os mesmos resultados foram obtidos por Almeida, Lana e Codeço (2022).

4.4.3 Caracterização das tipologias de transmissão utilizando análise de cluster

Neste momento da análise, nós tínhamos então 10 indicadores para cada um dos 12 anos do período de estudo e cada uma das 31 RAs, totalizando 372 observações (12 observações para cada RA). O próximo passo foi obter as médias de cada um dos 10 indicadores (não

padronizados) para cada um dos três períodos de quatro anos cada (2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021). Assim, passamos a ter 93 observações, 3 para cada RA. As tabelas 4 e 5 abaixo demonstram esse processo utilizando como exemplo a RA Águas Claras.

Tabela 4 - Indicadores temporais da RA Águas Claras por ano epidemiológico

| anoE | período | Xp | Tp | Dc3 | Dc6 | Dcmax | Dci | Ds3 | Ds6 | Dsmax | ST |
|------|---------|----|----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|------|
| 2010 | 1 | 11 | 22 | 2 | 0 | 4 | 1 | 3 | 2 | 7 | 0,37 |
| 2011 | 1 | 5 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | 9 | 0,16 |
| 2012 | 1 | 8 | 23 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 | 0 | 5 | 0,66 |
| 2013 | 1 | 16 | 26 | 2 | 2 | 11 | 0 | 2 | 0 | 5 | 0,93 |
| 2014 | 2 | 10 | 31 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 7 | 0,80 |
| 2015 | 2 | 13 | 28 | 1 | 0 | 4 | 1 | 2 | 1 | 7 | 1,39 |
| 2016 | 2 | 26 | 19 | 2 | 1 | 13 | 1 | 3 | 1 | 7 | 1,51 |
| 2017 | 2 | 4 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 5 | 0,24 |
| 2018 | 3 | 3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 5 | 0,48 |
| 2019 | 3 | 66 | 34 | 1 | 1 | 19 | 2 | 1 | 0 | 3 | 6,31 |
| 2020 | 3 | 75 | 28 | 1 | 1 | 27 | 6 | 0 | 0 | 1 | 3,14 |
| 2021 | 3 | 15 | 30 | 2 | 1 | 14 | 4 | 0 | 0 | 1 | 3,30 |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Tabela 5 - Médias dos indicadores temporais da RA Águas Claras por período

| período | Xpm | Tpm | Dc3m | Dc6m | Dcmaxm | Dcim | Ds3m | Ds6m | Dsmaxm | STm |
|---------|-------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|
| 1 | 10 | 25,5 | 1 | 0,5 | 4 | 0,5 | 3,5 | 0,75 | 6,5 | 0,53 |
| 2 | 13,25 | 26 | 0,75 | 0,25 | 4,75 | 1 | 2 | 0,75 | 6,5 | 0,98 |
| 3 | 39,75 | 25 | 1 | 0,75 | 15 | 3 | 1,25 | 0 | 2,5 | 3,31 |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Todas as médias dos indicadores temporais (variáveis) foram padronizadas utilizando a técnica *Z-score* separadamente para cada período para que, além de deixá-las em escalas comparáveis, como foi feito na análise anterior, fosse possível comparar mudanças ao longo do tempo. Assim, todas as variáveis representam, portanto, um valor relativo comparado a todos os outros valores na cidade naquele período específico. Essas variáveis foram utilizadas como *input* para realizarmos a análise de agrupamentos. Técnica semelhante foi utilizada nos trabalhos de Delmelle (2016) e Greenlee (2019).

A análise de agrupamentos ou análise de cluster é uma técnica de análise multivariada cujo principal objetivo é agrupar objetos ou observações com base nas suas características (variáveis). Assim, os grupos resultantes devem apresentar uma alta homogeneidade interna e uma alta heterogeneidade entre si. Essa análise envolve uma série de passos e tomadas de decisões em cada um deles, como a escolha da medida de (dis)similaridade, o algoritmo de agrupamento e o número de grupos. Essas escolhas envolvem muitas experimentações, um

suporte teórico e testes de validação (Hair *et al.*, 2019; Kaufman; Rousseeuw, 2005).

Para classificar as observações em grupos precisamos estabelecer medidas de (dis)similaridade entre cada par de observações. Nesta pesquisa, utilizamos a distância Euclidiana para construir a matriz de dissimilaridade, uma das medidas mais reconhecidas e utilizadas na literatura. Nesta técnica, a distância entre dois pontos em duas dimensões é dada por uma linha reta, a hipotenusa de um triângulo retângulo (Hair *et al.*, 2019; Kassambara, 2017).

Existe uma grande diversidade de algoritmos de agrupamentos na literatura. A maioria deles pode ser classificada em métodos de particionamento ou métodos hierárquicos (Kaufman; Rousseeuw, 2005). Utilizamos o método hierárquico apenas num primeiro momento, como uma análise exploratória para identificar *outliers* a partir de um dendrograma. Assim como no trabalho de Almeida, Lana e Codeço (2022), optamos por utilizar o algoritmo *Partitioning Around Medoids* (PAM) ou *k-medoid*. Os métodos de particionamento dividem os dados em k grupos. O PAM busca identificar k observações representativas entre os dados, chamadas de medoides, que representam o ponto central de cada grupo. O termo "medoide" refere-se a uma observação dentro de um grupo para a qual a dissimilaridade média entre ela e todos os outros membros do grupo é mínima (Kassambara, 2017; Kaufman; Rousseeuw, 2005).

Após identificar esse conjunto de k medoides, os k grupos são formados e cada observação é atribuída ao medoide mais próximo. O método *k-medoid* é uma alternativa robusta ao *k-means*, amplamente conhecido e utilizado na literatura. No *k-means*, o centro de cada grupo é determinado pela média de todas as observações do grupo, tornando-o mais sensível a *outliers* (Kassambara, 2017; Kaufman; Rousseeuw, 2005).

Nós aplicamos o algoritmo em soluções de 3 a 6 grupos. O número ideal de grupos e a qualidade dos agrupamentos foi avaliada a partir do método silhueta. Esse método de análise mede o quão bem uma observação está agrupada e estima a distância média entre os grupos. O gráfico de silhueta exibe uma medida de quão próxima cada observação está das observações dos grupos vizinhos (Kassambara, 2017; Kaufman; Rousseeuw, 2005). Para cada observação i , a largura da silhueta S_i é calculada da seguinte forma:

1. Para cada observação i , é calculada a dissimilaridade média a_i entre i e todas as outras observações do grupo ao qual pertence i .
2. Para todos os outros grupos C , aos quais i não pertence, é calculada a dissimilaridade média $d(i, C)$ de i para todas as observações de C . O menor desses $d(i, C)$ é definido como $b_i = \min_C d(i, C)$. O valor de b_i pode ser visto como a dissimilaridade entre i e seu grupo "vizinho", ou seja, o mais próximo ao qual ela não pertence.

3. Finalmente, a largura da silhueta da observação i é definida pela fórmula:

$$S_i = (b_i \neq a_i) / \max(a_i, b_i)$$

A largura da silhueta pode ser interpretada da seguinte forma: valores próximos de 1 indicam que a observação está bem agrupada, enquanto valores próximos a -1 indicam que a observação poderia estar em outro grupo; valores próximos de 0 indicam que a observação está entre dois grupos (Kassambara, 2017).

Após selecionar o número de grupos mais adequado, nós aplicamos o teste de Kruskal-Wallis para determinar diferenças significativas entre os grupos e o teste de post-hoc de Dunn para verificar as diferenças específicas entre os grupos. Este último teste foi realizado com valor ajustado de p utilizando o método de Bonferroni para reduzir as probabilidades de as diferenças significativas terem sido encontradas por acaso (erro tipo I) (Agresti; Finlay, 2009).

Calculamos então medidas descritivas e elaboramos gráficos *box-plot* para ajudar na interpretação dos grupos. Por fim, elaboramos três mapas com a distribuição dos grupos em cada período. Para realizar a análise de agrupamentos, utilizamos os pacotes *cluster* (Maechler *et al.*, 2022) e *factoextra* (Kassambara; Mundt, 2020).

4.4.4 Caracterização das trajetórias epidemiológicas da dengue utilizando o algoritmo *optimal matching* para análise de sequências

Para caracterizar as trajetórias das RAs (tempo no espaço), precisamos, primeiramente, analisar a similaridade entre as sequências de tipologias obtidas na primeira análise. Para isso, utilizamos o método *optimal matching* (OM) de análise de sequências de dados categóricos. Esse algoritmo foi criado inicialmente para analisar sequências de DNA, mas passou a ser usado nas Ciências Sociais para análise de trajetórias de vida e carreiras profissionais (Abbott; Tsay, 2000) e na Geografia Urbana para análise de mudanças socioeconômicas em bairros de grandes cidades (Delmelle, 2016; Greenlee, 2019).

Esse algoritmo calcula o custo associado à inserção, exclusão ou substituição de elementos em uma sequência para convertê-la em outra. Quanto mais operações são exigidas para igualar as duas sequências, maior será o custo ou a diferença entre elas (Delmelle, 2016; Gabadinho *et al.*, 2011). Para medir a (dis)similaridade entre as sequências, construímos uma matriz de custo de substituição, que é estimada com base nas taxas de transição entre os estados (tipologias de transmissão). A taxa de transição entre dois estados (S_i, S_j) é a probabilidade de mudar em uma dada posição de um estado S_i , para um estado S_j . Ela é dada pela seguinte

fórmula:

$$p(S_j | S_i) = \frac{\sum_{t=1}^{L-1} n_{t, t+1}(S_i, S_j)}{\sum_{t=1}^{L-1} n_t(S_i)}$$

onde $n_t(S_i)$ é o número de sequências que não termina em t com o estado S_i em uma posição t e $n_{t, t+1}(S_i, S_j)$ é o número de sequências com estado S_i em uma posição t e um estado S_j na posição $t+1$. L é o comprimento máximo observado no conjunto de sequências.

Basicamente, as taxas de transição, que são assumidas como consistentes ao longo do tempo, resultam em uma matriz onde cada linha mostra quão provável é passar de um estado atual para outros estados no próximo momento. Cada linha soma um, indicando todas as possibilidades de transição a partir de um estado. Na diagonal, vemos as probabilidades de permanência em um mesmo estado (Gabadinho *et al.*, 2011).

A partir das taxas de transição, podemos calcular o custo de substituição da seguinte forma:

$$2 - p(S_i | S_j) - p(S_j | S_i)$$

onde $p(S_i | S_j)$ é a probabilidade de se observar o estado S_i no tempo $t+1$ dado que o estado S_j tenha sido observado no tempo t . A intenção é atribuir um custo alto quando a transição entre S_i e S_j são raras e um custo baixo quando elas são frequentes. O custo mínimo é 0, quando a substituição de uma tipologia é feita por ela mesma, e o máximo é 2, o valor que seria obtido por uma transição não observada nos dados (Gabadinho *et al.*, 2011).

Os custos de substituição são organizados na forma de uma matriz de dimensão $a \times a$, onde a é o número de estados. O elemento (i, j) na matriz corresponde ao custo de substituir o estado S_i pelo estado S_j (Gabadinho *et al.*, 2011). Por fim, os valores do custo de substituição são utilizados como medida de dissimilaridade para agrupar as sequências em grupos semelhantes, utilizando análise de cluster mais uma vez.

É importante destacar que, nesta análise, estamos considerando apenas o custo de substituição, uma vez que os custos de inserção e exclusão de estados (*indel*) são relevantes apenas quando lidamos com sequências de comprimentos diferentes. Na nossa análise, todas as sequências tem três períodos, mas são entendidas como um todo, uma unidade conceitual (Abbott; Tsay, 2000; Gabadinho *et al.*, 2011). A análise de sequências foi feita com auxílio do pacote *TraMineR* (Gabadinho *et al.*, 2011).

4.5 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Essa pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP) e aprovada pelo mesmo CEP (CAAE: 59975022.4.0000.5240). A declaração de anuência da Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal (SES-DF) encontra-se no Anexo I desta tese.

Por se tratar de um estudo ecológico, com análise de dados agregados, comparando populações, essa pesquisa não oferece riscos de identificação. Existe a possibilidade, no entanto, que os resultados encontrados nessa pesquisa possam ser utilizados por alguns setores da sociedade, como por exemplo, por veículos de comunicação, de uma forma não cuidadosa e acabem por estigmatizar populações de áreas com altas incidências de arboviroses.

Os principais benefícios dessa pesquisa configuram-se em subsídios para atividades de vigilância em saúde. Esta pesquisa apresenta uma proposta metodológica de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue no espaço intraurbano a partir da caracterização de tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas, tendo como exemplo empírico o Distrito Federal (DF) brasileiro no período de 2010 a 2021. O modelo apresentado, além de ter relevância para as atividades de vigilância em saúde, colabora para ampliar a compreensão dos processos endêmicos-epidêmicos ao caracterizar diferentes padrões temporais e espaciais de transmissão da dengue. A partir da metodologia apresentada, a gestão local pode selecionar intervenções mais adequadas e efetivas, considerando as particularidades das tipologias de transmissão e trajetórias epidemiológicas de cada área. Destacamos o uso de técnicas de análise temporal e espacial, que se configuram como instrumentos essenciais para a caracterização dos padrões de transmissão das arboviroses e identificação de áreas prioritárias para o controle.

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA DISTRIBUIÇÃO DA DENGUE NO DISTRITO FEDERAL

Da semana epidemiológica (SE) 41 de 2009 à SE 40 de 2021 foram notificados 170.365 casos de dengue no Distrito Federal (DF). Desse total, 48,95% dos casos ocorreram em apenas dois anos, 2019 e 2020, com 46.378 e 37.023 casos, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 - Número de casos e taxa de incidência de dengue no DF por ano epidemiológico

| Intervalo de semanas | Ano epidemiológico | Casos | Estimativa de população | Taxa de incidência (100 mil hab.) |
|-----------------------------|---------------------------|--------------|--------------------------------|--|
| SE 41 2009 a SE 40 2010 | 2010 | 14.670 | 2.639.212 | 555,85 |
| SE 41 2010 a SE 40 2011 | 2011 | 2.816 | 2.681.052 | 106,70 |
| SE 41 2011 a SE 40 2012 | 2012 | 1.410 | 2.722.198 | 52,59 |
| SE 41 2012 a SE 40 2013 | 2013 | 11.240 | 2.763.488 | 412,90 |
| SE 41 2013 a SE 40 2014 | 2014 | 11.114 | 2.805.774 | 402,17 |
| SE 41 2014 a SE 40 2015 | 2015 | 8.710 | 2.848.633 | 310,43 |
| SE 41 2015 a SE 40 2016 | 2016 | 16.953 | 2.890.224 | 595,13 |
| SE 41 2016 a SE 40 2017 | 2017 | 3.489 | 2.931.057 | 120,72 |
| SE 41 2017 a SE 40 2018 | 2018 | 2.018 | 2.972.209 | 68,85 |
| SE 41 2018 a SE 40 2019 | 2019 | 37.023 | 3.012.718 | 1.245,64 |
| SE 41 2019 a SE 40 2020 | 2020 | 46.378 | 3.052.546 | 1.539,41 |
| SE 41 2020 a SE 40 2021 | 2021 | 14.544 | 3.052.546 | 476,45 |

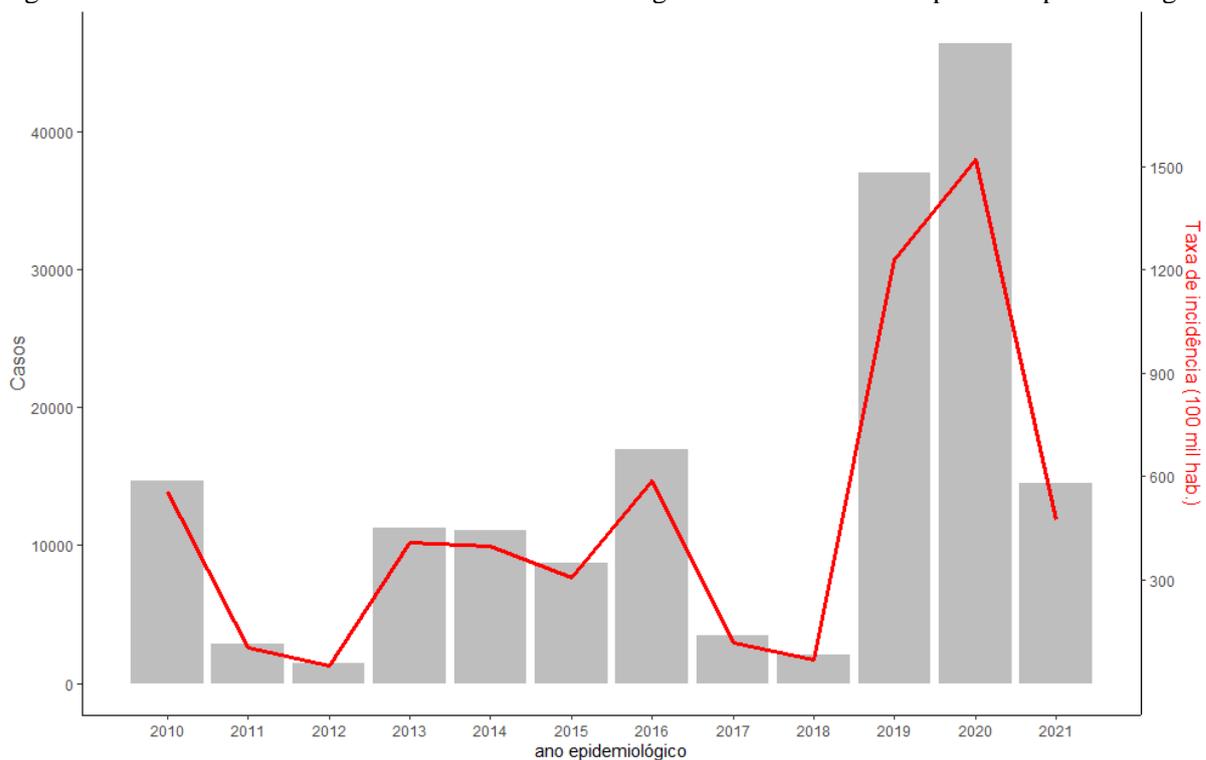
Fonte: SES-DF, CODEPLAN, 2019. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Podemos verificar três momentos bastante distintos na série de casos e taxas registradas nesses 12 anos do período de estudo. Num primeiro momento, no primeiro ano do período de estudo tem-se também a primeira epidemia de dengue registrada no DF, com uma taxa de incidência de 555,85 casos por 100 mil habitantes, voltando a cair nos anos seguintes. Num segundo momento, entre 2013 e 2016, podemos verificar que a curva epidêmica adquire a forma de um “platô”, seguido de um pico, de 4 anos consecutivos com taxas acima de 300 casos por

100 mil habitantes.

Num terceiro momento, nos anos de 2017 e 2018, o número de casos e de taxas atinge valores relativamente muito baixos. No entanto, voltam a subir expressivamente no ano epidemiológico de 2019. O ano de 2020 chega a ter uma taxa de incidência quase 3 vezes maior que a primeira epidemia notificada e com mais de 3 vezes o número total de casos registrados por ano (Figura 5).

Figura 6 - Número de casos e taxa de incidência de dengue no Distrito Federal por ano epidemiológico



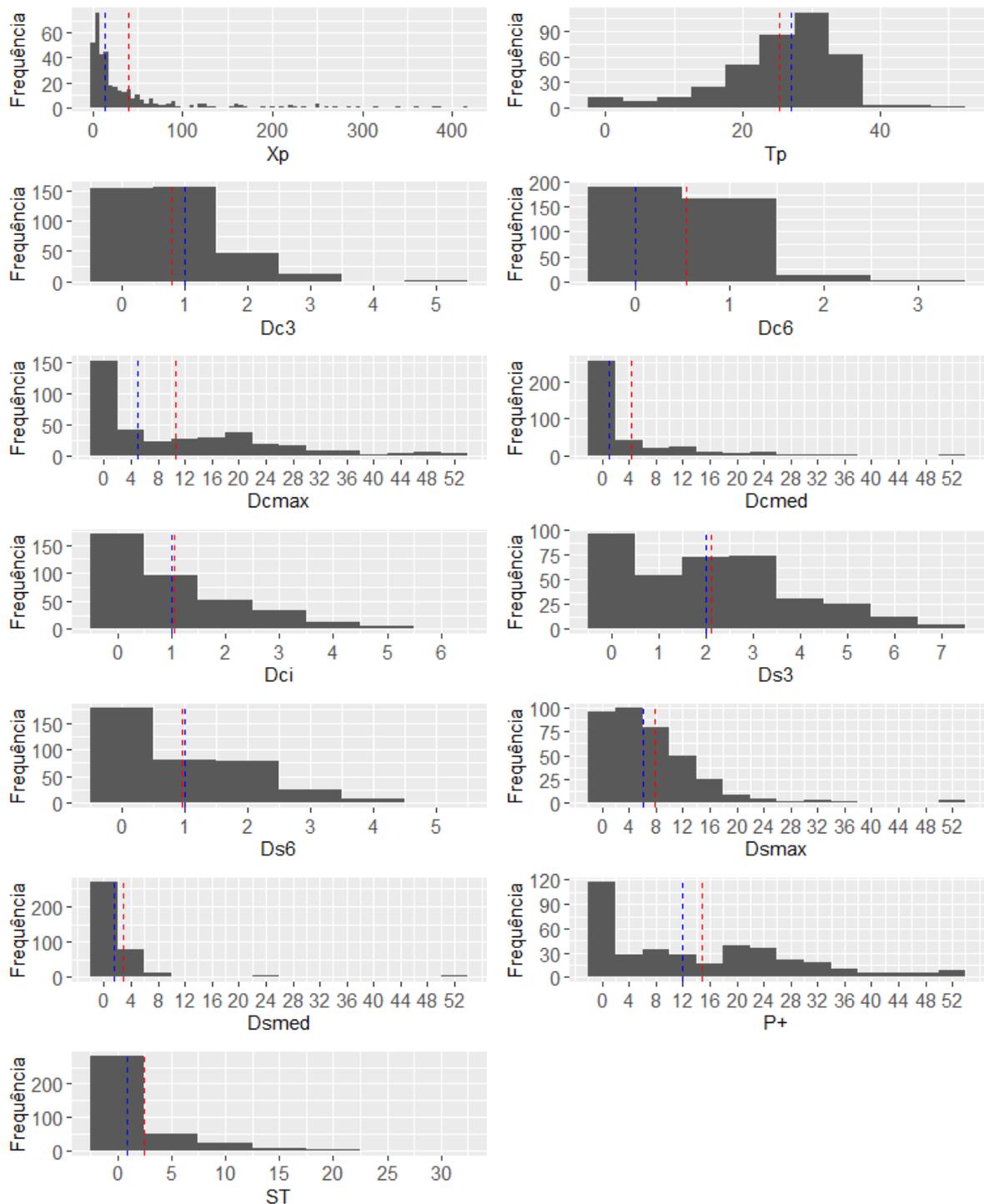
Fonte: SES-DF, CODEPLAN, 2019. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Considerando a escala de análise intraurbana, durante os 12 anos do estudo, observamos uma média 457,97 casos anuais por Região Administrativa (RA). O acumulado de casos para todo o período variou de 60 casos na RA Setor de Indústria e Abastecimento (SIA) a 24.656 casos na RA Planaltina.

5.2 INDICADORES TEMPORAIS DA DENGUE

Calculamos 13 indicadores temporais para as 31 RAs e os 12 anos epidemiológicos do período de estudo, totalizando 372 observações. As distribuições das frequências dos indicadores são, em geral, assimétricas à direita, exceto a do indicador Tp, em que a maioria das observações está próxima dos valores centrais (Figura 6). Testes de Shapiro-Wilk confirmaram que as distribuições não são normais ($p < 0,05$).

Figura 7 - Histogramas de frequências de valores observados dos indicadores temporais (n = 372)



Legenda: Cada histograma corresponde à distribuição de frequências de um indicador. As linhas tracejadas em vermelho representam as médias e as de cor azul, as medianas dos valores. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

O valor máximo de casos por semana em um ano epidemiológico (X_p) variou bastante entre as RAs e os anos observados, com 75% das observações apresentando um pico epidêmico

de magnitude menor ou igual a 39 casos, coincidindo com o valor médio aproximado (39,26 casos). O maior valor foi observado na RA Planaltina no ano epidemiológico de 2019, com 416 casos em uma única semana.

Em 289 (77,68%) das observações, o pico de casos ocorreu entre as semanas epidemiológicas 21 e 31, que correspondem aos meses de março, abril e maio do ano calendário, que marcam o final do verão e o início do outono. Este período é caracterizado pela transição entre a estação chuvosa e a estação seca no DF. A frequência das chuvas passa a diminuir gradualmente, mas as temperaturas ainda permanecem relativamente altas, favorecendo a reprodução e o desenvolvimento do vetor, bem como a transmissão do vírus.

As 31 RAs, nesses 12 anos, tiveram uma mediana de 1 evento de pelo menos três semanas consecutivas (Dc3) com 5 ou mais casos de dengue. O valor desse indicador variou de 0 a 5. Esse extremo foi observado apenas uma vez, na RA Guará, no ano de 2021. Mais da metade das observações (51,3%) registraram Dc6 = 0 e 44,9% registraram Dc6 = 1. Apenas duas observações registraram Dc6 = 3, Plano Piloto e Taguatinga, ambas no ano epidemiológico de 2021.

Planaltina, em 2020 e 2021, e Sobradinho, em 2021, tiveram transmissão sustentada durante o ano todo (Dcmax e Dcmed = 52). O indicador Dcmax variou de 0 a 52, com uma média de 10,65 semanas consecutivas com cinco ou mais casos de dengue. O indicador Dci mede a presença de semanas isoladas com transmissão (uma semana positiva entre semanas sem transmissão sustentada). Cerca de 45,4% das observações registraram Dci = 0. A mediana desse indicador foi de 1 semana isolada com transmissão e os maiores valores foram observados em Águas Claras, em 2020, e em Ceilândia, em 2012, com 6 semanas isoladas com transmissão em um ano epidemiológico.

Os indicadores Ds3, Ds6, Dsmax e Dsmed caracterizam períodos consecutivos sem casos de dengue. Ds3 variou de 0 a 7, com mediana igual a 2. Ds6 variou de 0 a 5, com mediana igual a 1. Dsmax e Dsmed variaram de 0 a 52, com medianas iguais a 6 e 1,5, respectivamente. As observações que não registraram nenhuma semana com transmissão em um ano epidemiológico foram o Setor de Indústria e Abastecimento (SIA), em 2012 e 2015, e a RA Sudoeste/Octogonal, em 2018, a primeira com cerca de 2.500 habitantes, e a última com cerca de 54 mil habitantes.

A frequência de semanas com transmissão sustentada em um ano epidemiológico (P+) variou de 0 a 52, com uma mediana de 12 semanas. Do total de observações, 86 (23,1%) não registraram nenhuma semana com 5 ou mais casos (P+ = 0).

Por último, o indicador ST representa a razão entre as amplitudes dos componentes de

tendência e sazonalidade. Se a amplitude da tendência é muito maior do que a amplitude da sazonalidade, o indicador ST será alto, sugerindo que as mudanças de longo prazo têm um peso maior do que as variações sazonais. Por outro lado, um valor baixo de ST indica que as variações sazonais são mais pronunciadas em comparação com as mudanças de longo prazo. Esse indicador apresentou uma média anual de 2,47, com 75% das observações estando abaixo desse valor. O maior valor de ST foi 30,73, observado em Ceilândia, em 2019.

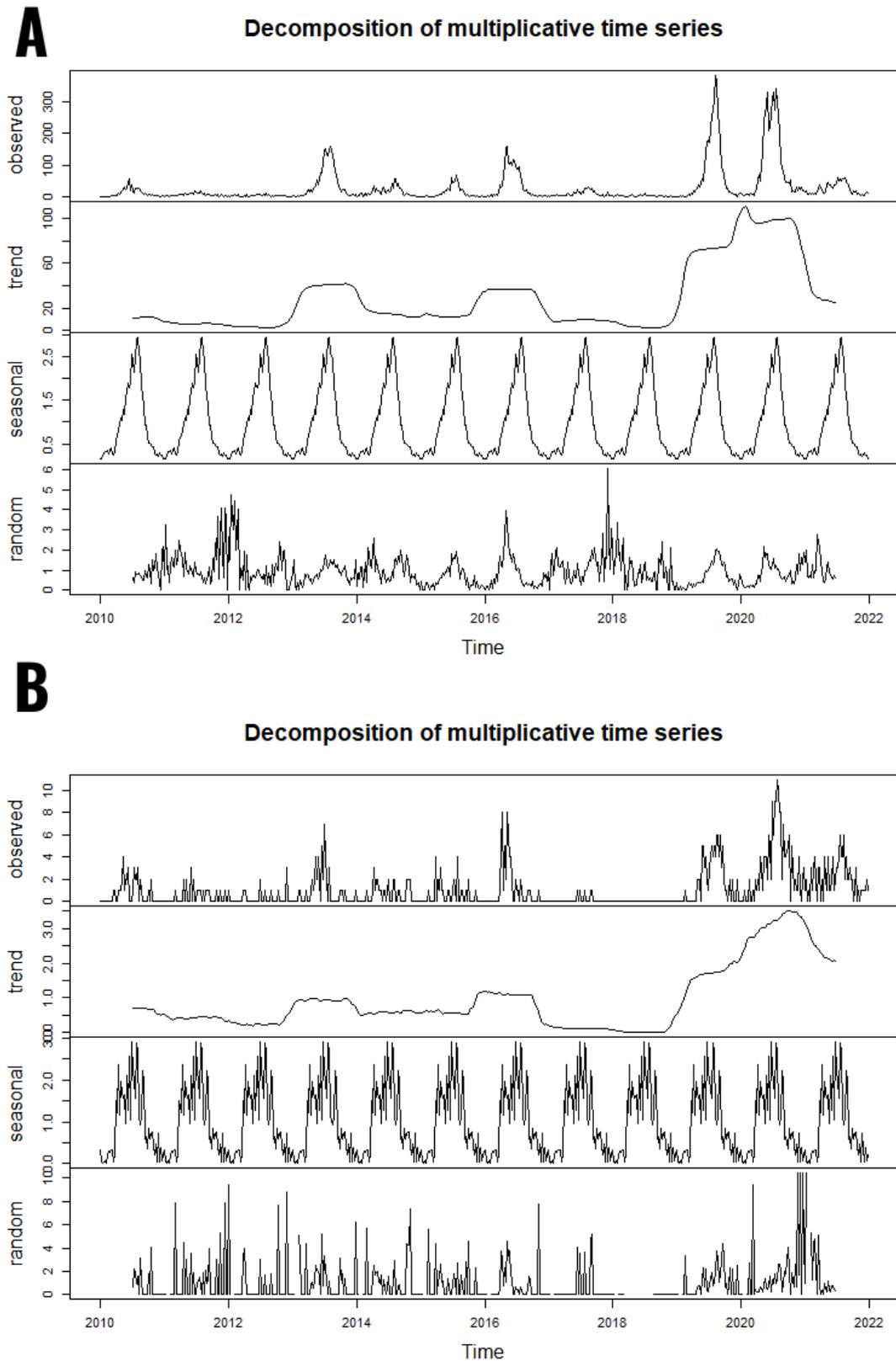
Essa RA é um exemplo em que a série temporal de casos apresenta uma maior importância do componente de tendência do que o componente de sazonalidade. Se considerarmos os 12 anos do período de estudo como um todo, o valor da amplitude do componente de tendência foi 108,23 e o da amplitude do componente de sazonalidade foi de 2,78. Assim, o indicador ST para a série como um todo seria de 38,8 (Figura 7A). Já a série temporal de casos da RA Sudoeste/Octogonal é um exemplo em que o componente de sazonalidade tem uma importância relativamente maior. Se considerarmos os 12 anos do período de estudo, o valor da amplitude do componente de tendência foi 3,5, enquanto a amplitude do componente de sazonalidade foi de 2,9. Dessa forma, o indicador ST da RA Sudoeste/Octogonal para os 12 anos como um todo seria 1,2 (Figura 7B). As medidas descritivas de todos os indicadores estão no Apêndice B da tese.

Como os indicadores possuem escalas diferentes, aplicamos a padronização *Z-score* para torná-los comparáveis, transformando-os em uma escala comum com média zero e desvio padrão um. Essa padronização nos permitiu verificar se existia multicolinearidade entre esses indicadores ao examinar a matriz de correlação (Figura 8A). As variáveis com alta correlação ($>0,8$) entre si foram D_{smed} e D_{smax} , P e D_{cmax} e D_{c6} e P , resultado similar ao encontrado por Almeida, Lana e Codeço (2022).

Assim como estas autoras, optamos por manter D_{smax} e D_{cmax} porque eles refletem o período máximo sem e com casos, respectivamente, e excluímos, portanto, as variáveis D_{smed} e P . Consequentemente, também mantivemos o indicador D_{c6} . Também como o trabalho mencionado, excluímos o indicador D_{cmed} , apesar de não apresentar alta correlação com outras variáveis, por ser complementar ao indicador D_{smed} . As análises seguintes foram feitas utilizando os 10 indicadores restantes (Figura 8B).

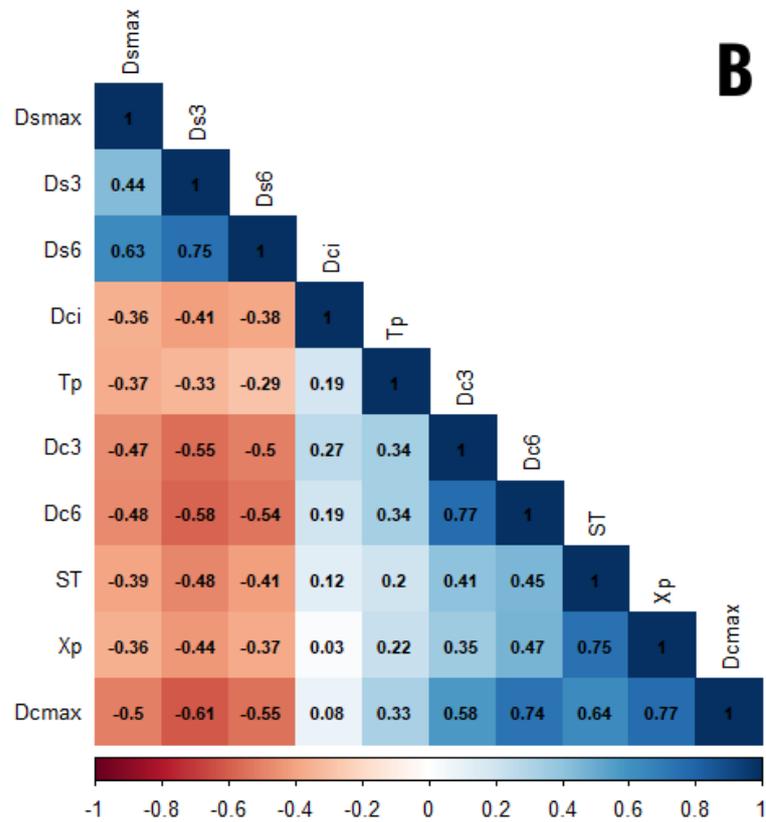
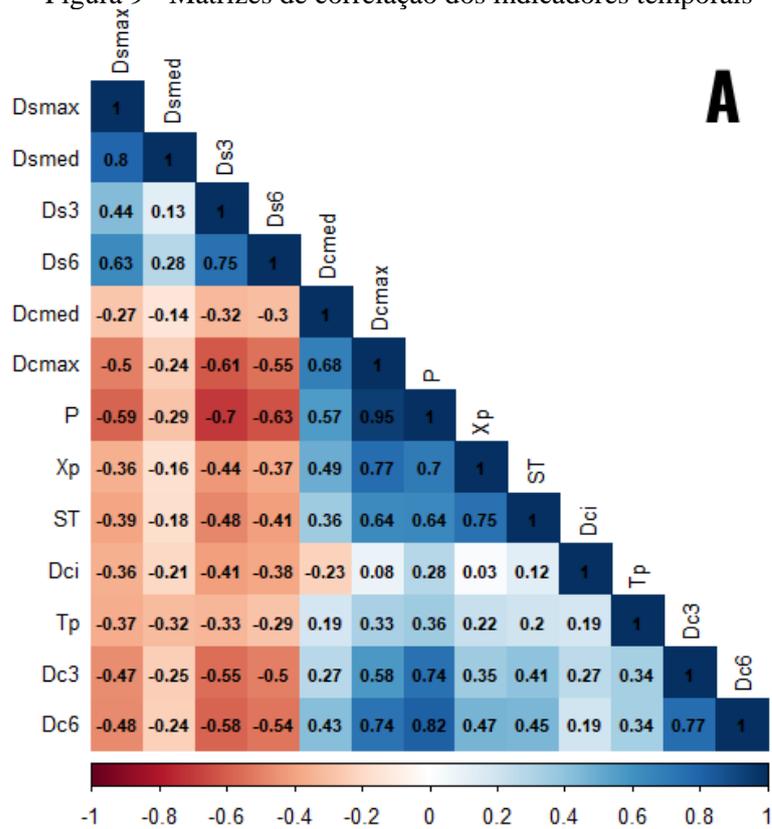
Os indicadores X_p e ST possuem forte correlação positiva entre si, indicando que quanto maior o valor do pico (X_p), maior também a razão de tendência pela sazonalidade. Assim, o aumento dos valores de pico indica um aumento dos valores de tendência da série temporal e uma menor influência do componente de sazonalidade na série.

Figura 8 - Decomposição multiplicativa da série temporal de casos de dengue das Regiões Administrativas de Ceilândia (A) e Sudoeste/Octogonal (B), no período de 2010 a 2021



Fonte: SES-DF. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Figura 9 - Matrizes de correlação dos indicadores temporais



Legenda: Matrizes de correlação entre os indicadores temporais com os 13 indicadores inicialmente analisados (A) e após a exclusão dos indicadores altamente correlacionados (B). Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

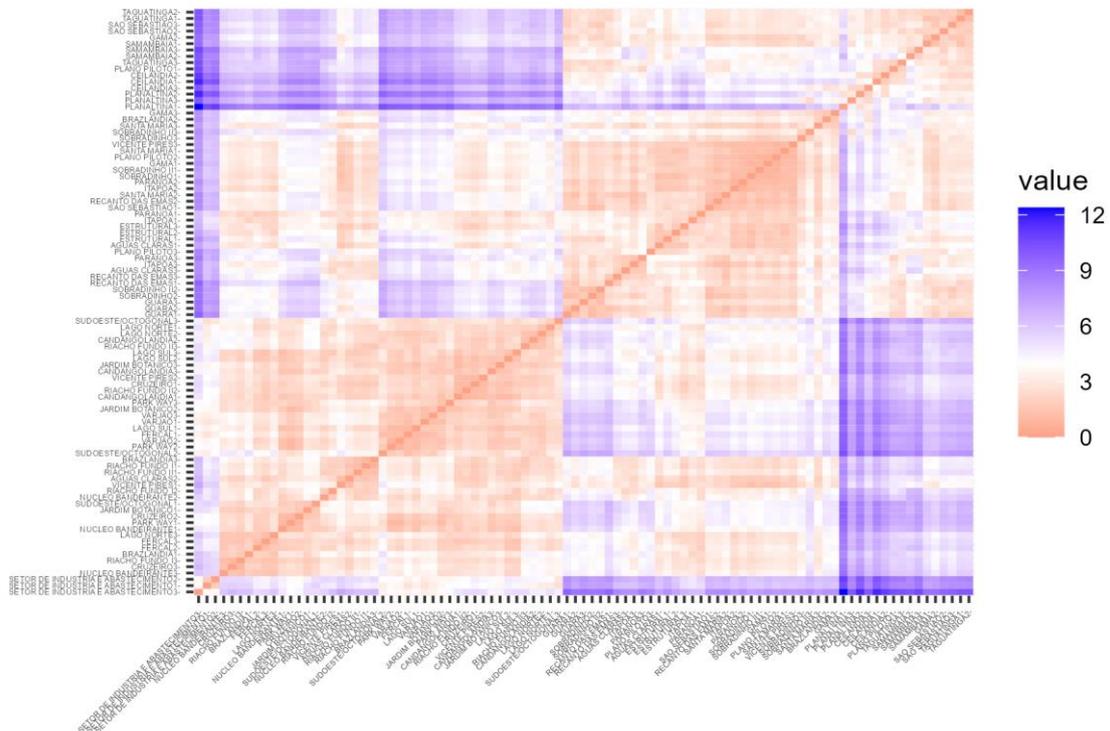
Os indicadores de duração de períodos sem casos (Ds3, Ds6 e Dsmax) apresentam correlação positiva entre si e negativa com os demais indicadores, apontando que quanto maior o período sem casos, menor o tamanho do pico (X_p) e maior a importância relativa da sazonalidade na série (ST). Os indicadores de duração de períodos com casos (Dc3, Dc6 e Dcmax) possuem correlação positiva entre si e com os indicadores, indicando o oposto.

O indicador Dci (frequência de semanas isoladas com 5 ou mais casos) apresenta correlação relativamente fraca ou moderada com todos os outros indicadores (negativa com os indicadores de períodos sem casos e positiva com os demais). O mesmo ocorre com o indicador Tp.

5.2 TIPOLOGIAS DE TRANSMISSÃO DA DENGUE

Depois de realizada a etapa inicial da análise exploratória, calculamos as médias dos 10 indicadores por período e RA (variáveis). Esse processo resultou em um conjunto de dados com 93 observações. Com essas variáveis calculadas, construímos uma matriz de dissimilaridade utilizando a distância Euclidiana (Figura 9).

Figura 10 - Matriz de dissimilaridade entre as observações

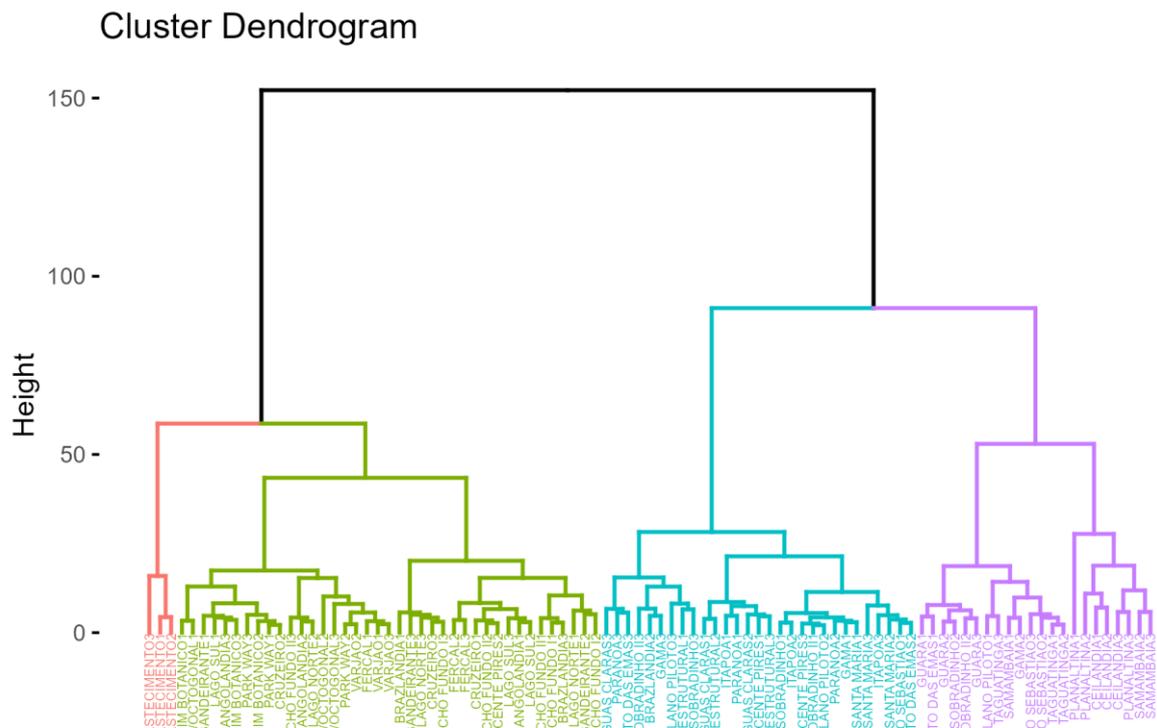


Legenda: Os valores em vermelho representam baixa dissimilaridade (muito parecidos entre si), enquanto os valores em azul representam alta dissimilaridade (muito diferentes entre si). Os valores na diagonal representam a distância entre uma observação e ela mesma, que é igual a zero. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

A matriz de dissimilaridade acima representa a distância entre as observações e permite confirmar que existe uma tendência de agrupamento entre os dados. No entanto, a quantidade de observações dificulta o estabelecimento dos grupos já nesse momento da análise, apenas com uma avaliação visual.

O próximo passo consistiu em construir um dendrograma com o propósito de identificar possíveis *outliers* (Figura 10). Essa análise mostrou que as observações referentes a RA Setor de Indústria e Abastecimento (SIA) nos três períodos podem ser consideradas discrepantes.

Figura 11 - Dendrograma das Regiões Administrativas (RAs) considerando os três períodos



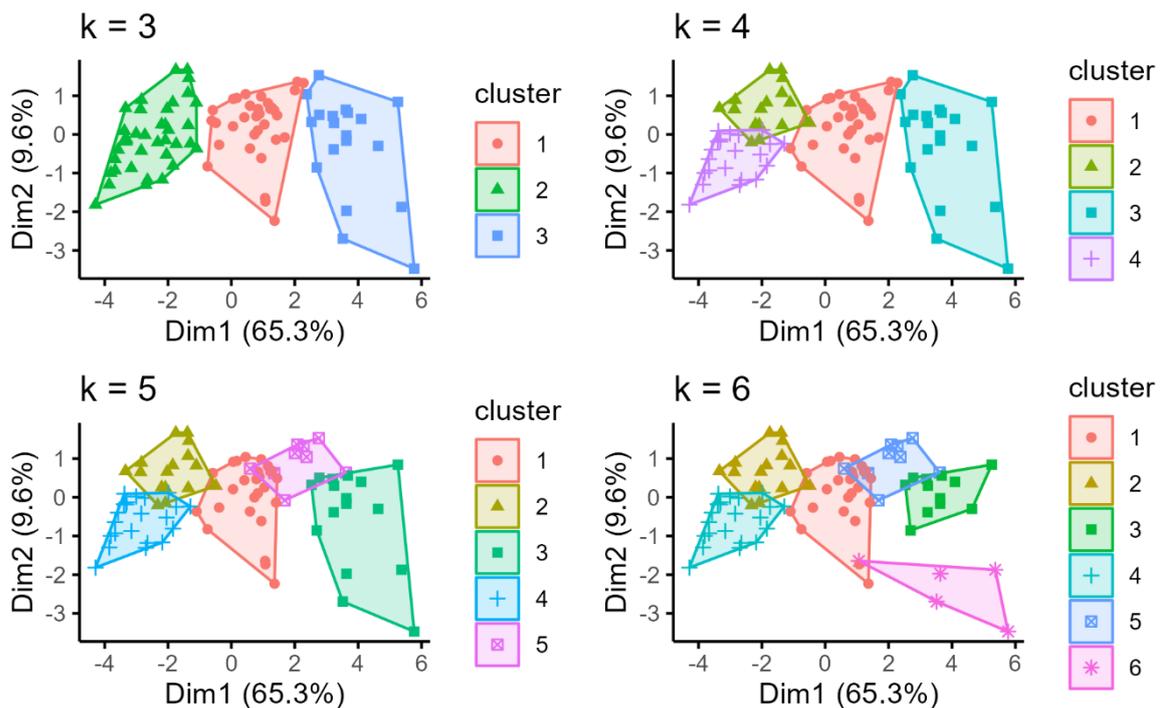
Legenda: O dendrograma apresenta uma solução de 4 grupos identificados por cores diferentes. O grupo em vermelho contém apenas as 3 observações da RA SIA. O algoritmo de agrupamento utilizado foi o *Ward's Method*. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Utilizando um procedimento aglomerativo, que inicia com cada observação formando um grupo individual e, progressivamente, agrega os grupos mais semelhantes (de baixo para cima, no gráfico), essas observações só são agregadas a um grupo maior num estágio mais tardio. Em uma solução com até 4 grupos, essas observações formam um grupo pequeno e isolado e só são agregadas a um grupo maior a partir de uma solução de 3 grupos. Esse padrão sugere que as observações da RA SIA possuem características muito particulares, as diferenciando das demais RAs. Dessa forma, retiramos essas observações das próximas etapas

da análise de agrupamentos e as reintroduzimos manualmente apenas após a caracterização dos grupos.

Depois de remover os *outliers*, aplicamos o algoritmo *Partitioning Around Medoids* (PAM) para análise de agrupamentos. Os gráficos abaixo (Figura 11) mostram as soluções com $k = 3, 4, 5$ e 6 grupos. Para uma visualização mais simplificada, os gráficos mostram as observações após uma análise de componentes principais (PCA), que reduz as variáveis em duas dimensões. Essas duas dimensões dos gráficos correspondem às duas primeiras coordenadas dos componentes principais, que explicam 74,9% da variação dos dados. A solução com $k = 3$ apresenta grupos bem separados, especialmente os grupos 1 e 2. O grupo 3 apresenta uma distribuição mais dispersa, com uma observação bem próxima do grupo 1. As soluções com k maior ou igual a 4 apresentam grupos que se sobrepõem.

Figura 12 - Visualização dos agrupamentos com soluções igual a $k=3, 4, 5$ e 6

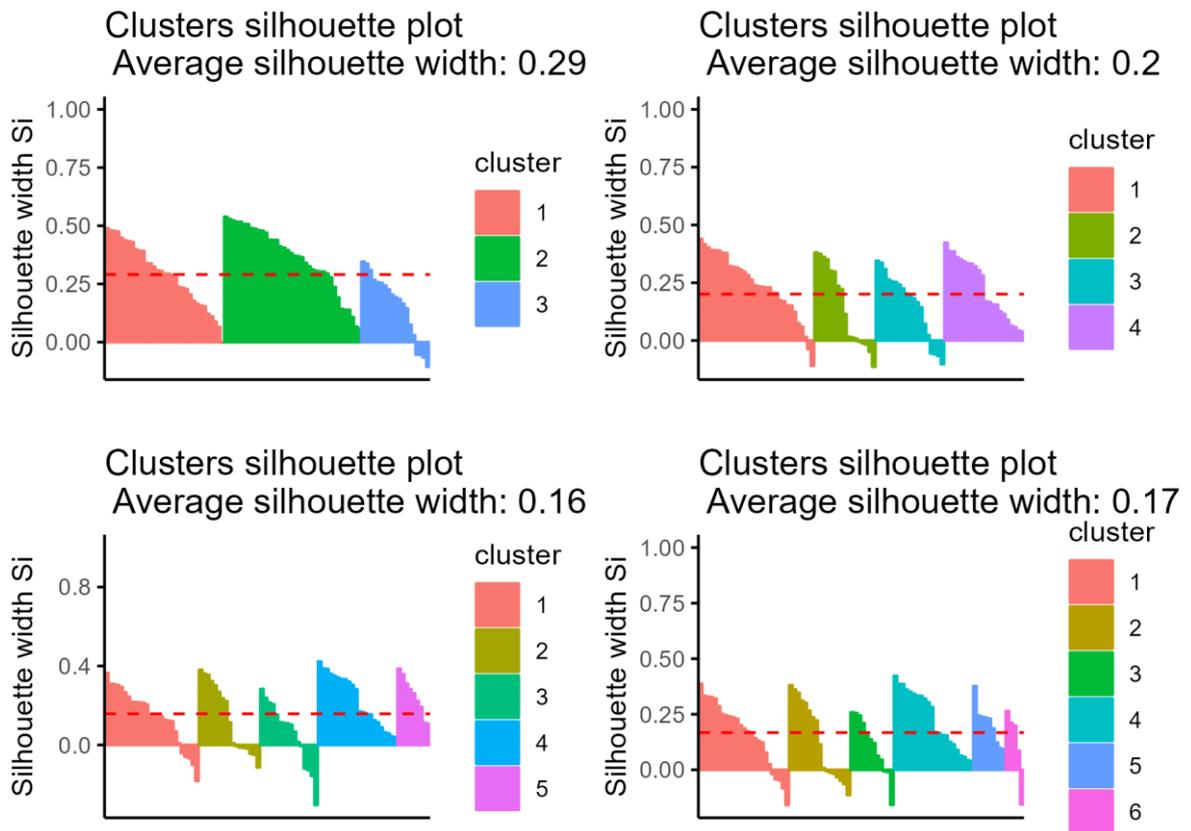


Legenda: Os gráficos apresentam soluções para 3, 4, 5 e 6 grupos. Essa visualização foi obtida utilizando a função *fviz_cluster* do pacote *factoextra* (Kassambara; Mundt, 2020). As observações são representadas como pontos. Quando o número de variáveis é maior que 2, a função utiliza PCA para projetar as observações em um espaço bidimensional. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Para avaliar o número ideal de grupos e a qualidade dos agrupamentos, utilizamos o método silhueta (Figura 12). A solução com 3 grupos apresenta uma largura média de silhueta (S_i) igual a 0,29, indicando uma estrutura de agrupamento razoável. Os grupos 1 e 2 possuem

todas as observações bem posicionadas. Apenas o grupo 3 apresenta observações que poderiam ser agregadas ao grupo vizinho. As demais soluções apresentam valores de S_i menores e uma maior quantidade de grupos que apresentam observações mal posicionadas. Por essas razões, a solução com $k = 3$ parece ser a que apresenta agrupamentos que refletem os dados de forma mais fidedigna. Além disso, uma solução com um menor número de grupos torna a interpretação mais fácil e clara.

Figura 13 - Largura média de silhueta para soluções de agrupamentos com $k = 3, 4, 5$ e 6



Legenda: Valores próximos de 1 indicam que a observação está bem agrupada, enquanto valores próximos a -1 indicam que a observação poderia estar em outro grupo; valores próximos de 0 indicam que a observação está entre dois grupos (Kassambara, 2017; Kaufman; Rousseeuw, 2005). Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis determinaram diferenças significativas entre os 3 grupos em relação a todas as variáveis ($p < 0,05$). Para identificar quais grupos diferem entre si, aplicamos o teste post-hoc de Dunn com p-valor ajustado pelo método Bonferroni (Tabela 7). Observamos que a maioria das variáveis apresenta diferenças significativas entre os grupos, como mostram o p-valor e o p-valor ajustado destacados em negrito na tabela. Sem o ajuste, não podemos afirmar que há diferenças entre o grupo 1 e 3 apenas em relação ao tempo

médio do pico (Tp) e à frequência média de semanas isoladas com cinco ou mais casos (Dci). O grupo 2 tem diferenças significativas em relação aos demais quando as distribuições de todos os indicadores são comparadas.

Tabela 7 - Comparações entre os grupos

| Variável | Comparação | p-valor | p-valor ajustado |
|----------|------------|-----------------|------------------|
| Xp | 1-2 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 1-3 | 0,03 | 0,09 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| Tp | 1-2 | 0,02 | 0,06 |
| | 1-3 | 0,36 | 1,00 |
| | 2-3 | 0,004 | 0,01 |
| Dc3 | 1-2 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 1-3 | 0,03 | 0,08 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| Dc6 | 1-2 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 1-3 | 0,02 | 0,05 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| Dcmax | 1-2 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 1-3 | 0,01 | 0,03 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| Dci | 1-2 | 0,02 | 0,07 |
| | 1-3 | 0,19 | 0,56 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| Ds3 | 1-2 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 1-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| Ds6 | 1-2 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 1-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| Dsmax | 1-2 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 1-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| ST | 1-2 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | 1-3 | 0,04 | 0,12 |
| | 2-3 | < 0,0001 | < 0,0001 |

Legenda: Comparações das variáveis entre cada par de grupos. São apresentados o p-valor antes e depois da correção de Bonferroni para múltiplas comparações. As diferenças significativas estão destacadas em negrito. Em testes múltiplos, a probabilidade de obter um falso positivo (erro do Tipo I) aumenta com o número de comparações. A correção de Bonferroni divide o nível de significância pelo número de comparações. Nessa análise, temos o nível de significância igual a 0,05, que com a correção de Bonferroni passa a ser de 0,0167. Para calcular o teste post-hoc de Dunn, utilizamos a função *dunn_test* do pacote *rstatix* (Kassambara, 2023) Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

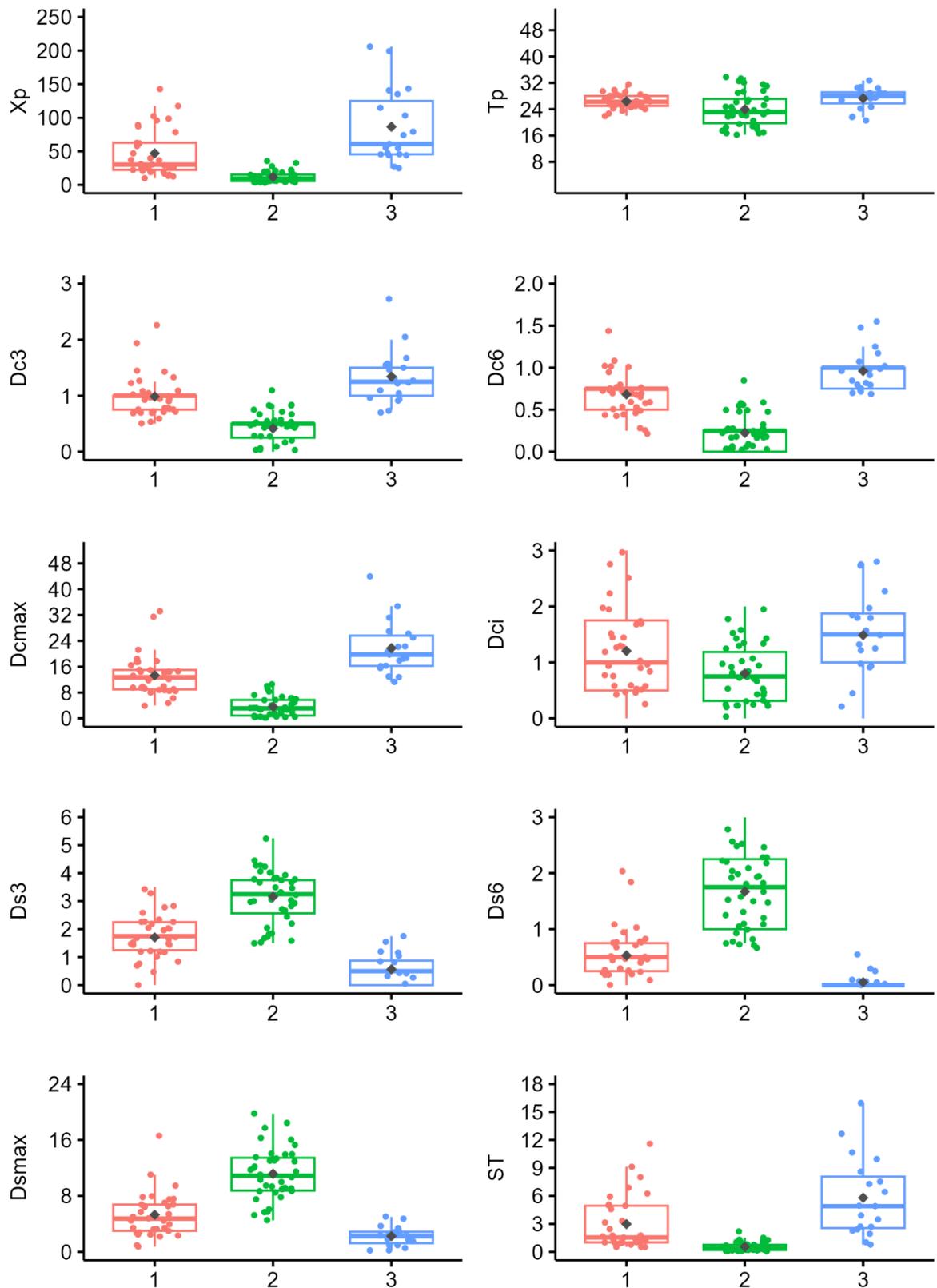
Já com a correção de Bonferroni, que é um método mais conservador, podemos notar

que não há diferenças significativas entre os grupos 1 e 3, não somente em relação às variáveis T_p e D_{ci} , mas também em relação ao tamanho médio do pico (X_p), à duração média de três semanas consecutivas com cinco ou mais casos (D_{c3}) e média da razão tendência/sazonalidade (ST). Assim, a principal diferença entre os grupos 1 e 3 está relacionada às variáveis de duração longa de períodos com casos (D_{c6} e D_{cmax}) e à duração de períodos sem casos (D_{s3} , D_{s6} e D_{smax}). Já o grupo 2, conforme os valores de p-valor ajustado, não apresenta diferenças significativas somente de T_p e D_{ci} em relação ao grupo 1. Apresenta, no entanto, diferenças significativas em todas as outras comparações.

Os gráficos *box-plots* (Figura 13) mostram as diferenças nas distribuições de cada variável por grupo, bem como suas medidas descritivas. O grupo 1 ($n = 33$) apresenta valores intermediários de todos os indicadores quando comparado aos outros grupos. Para esse grupo, a variável X_p apresenta, em média, uma variação entre 10 a 142,75 casos, com uma média de um máximo de cerca de 47 casos em uma única semana. O tempo do pico de casos (T_p) varia, em média, da semana 22 (março) a 31,5 (maio), ocorrendo em média na semana 26 do ano epidemiológico, aproximadamente, o que corresponde a semana 13 do ano calendário (mês de abril). Apresenta, em média, um máximo de cerca de 13 semanas de transmissão contínua (D_{cmax}). As RAs que fazem parte desse grupo possuem um período de transmissão máximo que varia consideravelmente, em média, de 4 a 33 semanas. A razão de tendência/sazonalidade (ST) varia de 0,49 a 12,03, com média de 3,1, indicando uma sazonalidade menor comparada ao grupo 2 e maior comparada ao grupo 3.

O grupo 2 ($n = 38$) é caracterizado por baixos valores de pico (X_p) e de períodos com transmissão. O tempo do pico de casos (T_p) apresentou uma distribuição dispersa, variando em média da semana 16 (janeiro) à semana 33 (junho), e ocorrendo em média, na semana 24 (março). O período máximo de semanas consecutivas com transmissão (D_{cmax}) é de 10,5 semanas e a média é de 3,61 semanas. Consequentemente, possui altos valores de indicadores de períodos sem transmissão e o mais baixo valor médio do indicador ST, 0,572, indicando uma alta sazonalidade da dengue nas RAs desse grupo.

Figura 14 - Distribuição das variáveis por grupo



Legenda: Distribuições e medidas descritivas das variáveis por grupo. Cada ponto é uma observação. Os losangos na cor cinza correspondem às médias. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

O grupo 3 ($n = 19$) possui altos valores de pico (X_p), com uma variação média entre 24,75 e 206 casos em uma única semana, com uma média de um máximo de 86,63 casos em uma única semana. O tempo do pico de casos (T_p) varia em média da semana 20 (fevereiro) à semana 32 (maio), ocorrendo em média na semana 27 (abril). Também possui altos valores dos indicadores de duração de períodos com transmissão. Ele se destaca pelos longos períodos de transmissão contínua, com uma média de um máximo de 21,75 semanas (D_{cmax}) e alcançando até 44 semanas, em média, em algumas RAs. Por outro lado, apresenta períodos curtos ou até mesmo nenhum período sem casos, apresentando um período máximo de 5 semanas sem registros de casos (D_{smax}). Possui os mais altos valores do indicador ST, indicando uma baixa sazonalidade e uma maior influência do componente de tendência nas séries das RAs desse grupo.

Em síntese, o grupo 1 mostra alta incidência de dengue com padrão sazonal e intervalos onde não há transmissão. O grupo 2 tem incidência baixa e apresenta surtos esporádicos seguidos por extensos períodos sem transmissão. Já o grupo 3 possui alta incidência, com raros ou nenhum intervalo sem transmissão. Dessa forma, podemos caracterizar as tipologias de transmissão dos grupos como epidêmica, episódica e persistente, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8 - Caracterização das tipologias de transmissão

| Grupo | Características | Tipologia de transmissão |
|-------|--|--------------------------|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> • Incidência alta • Sazonal • Apresenta períodos sem transmissão | Epidêmica |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> • Baixa incidência • Surtos esporádicos • Longos períodos sem transmissão | Episódica |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> • Incidência alta • Transmissão sustentada ao longo do ano • Períodos sem transmissão curtos ou inexistentes | Persistente |

Elaboração: Bruna Drumond Silveira, 2023.

A partir desse momento, nós reintroduzimos manualmente a RA SIA, que havia sido caracterizada como *outlier*, na análise. Por proximidade, ela foi agregada ao grupo de tipologia de transmissão episódica, que passa a ter, então, 41 observações. As médias das variáveis dessa RA são: $X_p = 1,33$, $T_p = 18$, $D_{c3} = 0$, $D_{c6} = 0$, $D_{cmax} = 0$, $D_{ci} = 0$, $D_{s3} = 3,08$, $D_{s6} = 2,16$,

$D_{smax} = 28,16$ e $ST = 0,013$.

Os mapas abaixo mostram as distribuições das tipologias de transmissão nos três períodos: 2010 a 2013 (período 1), 2014 a 2017 (período 2) e 2018 a 2021 (período 3) (Figura 14). No período 1, 14 RAs (45,2%) apresentaram tipologia de transmissão episódica, 10 (32,3%) apresentaram tipologia de transmissão epidêmica e 7 (22,6%), tipologia de transmissão persistente. As RAs classificadas com transmissão episódica estão localizadas principalmente em áreas mais próximas e ao redor do Plano Piloto: Candangolândia, Cruzeiro, Jardim Botânico, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Park Way, Riacho Fundo I, Riacho Fundo II, Setor de Industria e Abastecimento, Sudoeste/Octogonal e Varjão. Também em RAs mais distantes, ao norte, a Fercal, e a noroeste, Brazlândia.

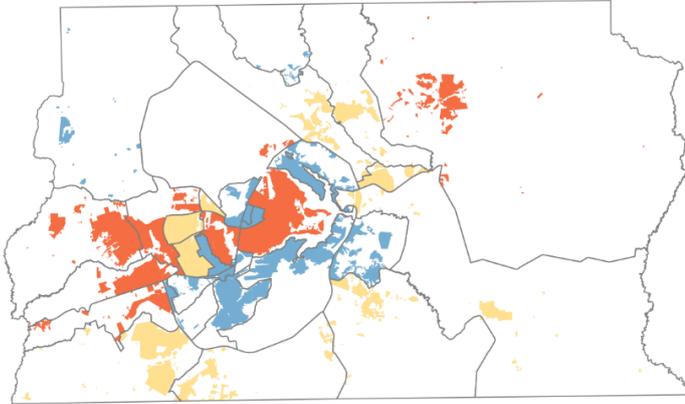
As RAs com tipologia de transmissão epidêmica no primeiro período estão mais dispersas pelo território. São elas: Águas Claras, Estrutural, Gama, Itapoã, Paranoá, Santa Maria, São Sebastião, Sobradinho, Sobradinho II e Vicente Pires. Já as Regiões com transmissão persistente estão localizadas nas áreas mais centrais, Plano Piloto e Guará, a oeste, Ceilândia, Recanto das Emas, Samambaia e Taguatinga, e a nordeste, Planaltina.

No segundo período, as frequências e proporções de RAs em cada tipologia continuaram as mesmas do primeiro período. No entanto, houve mudanças nas composições de cada grupo. Candangolândia, Cruzeiro, Jardim Botânico, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Park Way, Riacho Fundo I, Riacho Fundo II, Setor de Industria e Abastecimento, Sudoeste/Octogonal e Varjão, próximas ao Plano Piloto, continuaram apresentando tipologia de transmissão episódica. O mesmo ocorreu com a Fercal, mais distante, ao norte. Brazlândia, por outro lado, nesse período, passou a apresentar uma tipologia de transmissão epidêmica. E Vicente Pires, a centro-oeste no mapa, que no período anterior apresentava tipologia de transmissão epidêmica, passou a apresentar uma tipologia de transmissão episódica.

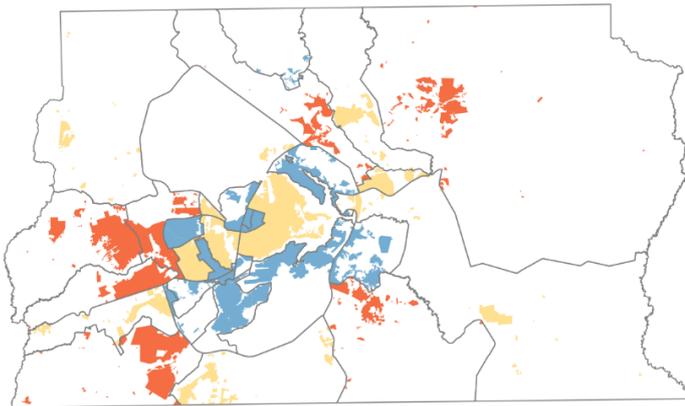
Águas Claras, Estrutural, Itapoã, Paranoá, Santa Maria e Sobradinho, que apresentaram tipologia de transmissão epidêmica no primeiro período, continuaram a apresentar a mesma tipologia no segundo período. Guará, Plano Piloto e Recanto das Emas, que apresentaram tipologia de transmissão persistente no primeiro período, passaram a integrar esse grupo de RAs que apresentaram tipologia de transmissão epidêmica nesse segundo período. Ceilândia, Samambaia e Taguatinga, a oeste e Planaltina, a nordeste mantiveram a tipologia de transmissão persistente também nesse período. Gama, a sudoeste, São Sebastião, a sudeste, e Sobradinho II, ao norte, que antes apresentaram tipologia de transmissão epidêmica, neste segundo período passam a apresentar tipologia de transmissão persistente.

Figura 15 - Tipologias de transmissão da dengue no DF em três períodos: 2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021

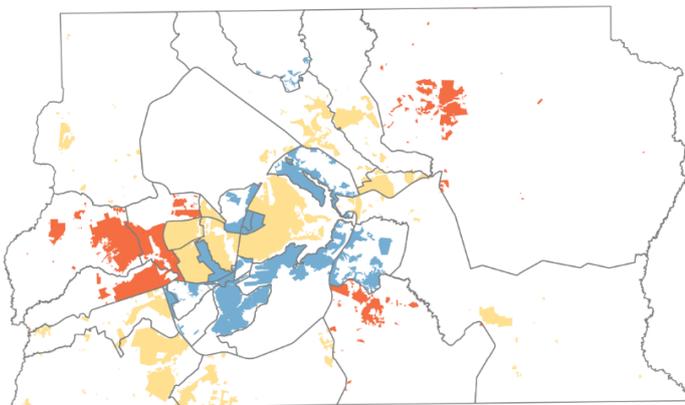
2010-2013



2014-2017



2018-2021



Tipologias de transmissão

-  Episódica
-  Epidêmica
-  Persistente

Fonte: CODEPLAN, 2014; SEDUH-DF, 2019, SES-DF, 2022. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

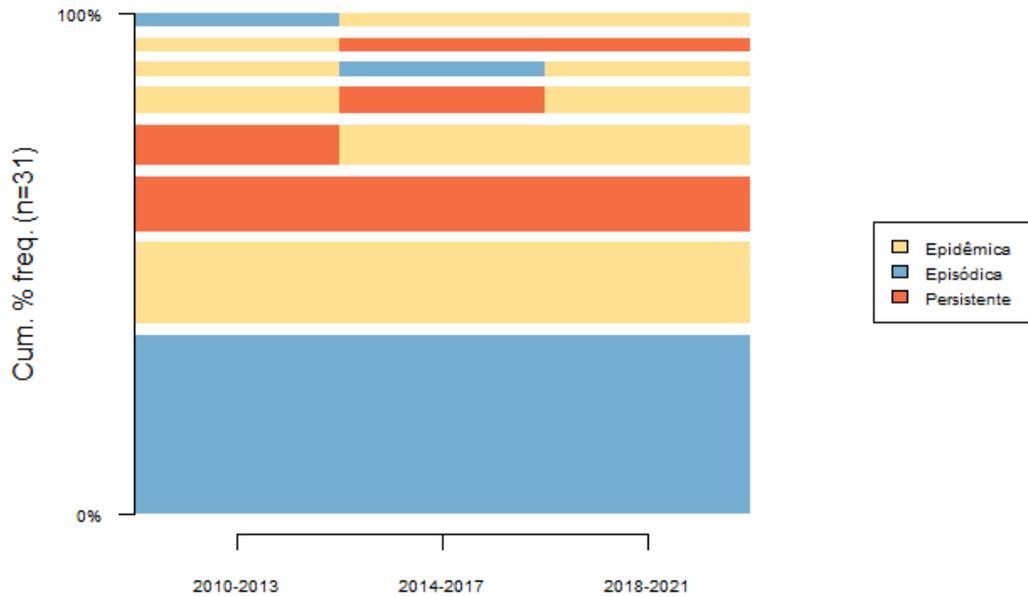
No terceiro período, entre 2018 e 2021, houve um aumento na frequência e na proporção

de RAs com tipologia de transmissão epidêmica, com um total de 13 (41,9%) RAs. Conseqüentemente, houve uma pequena diminuição no número de RAs que apresentaram tipologia de transmissão episódica, que também passou a ser 13 (41,9%). O grupo de RAs com transmissão persistente, que antes eram 7, passou a ter 5 (16,1%) integrantes. Candangolândia, Cruzeiro, Jardim Botânico, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Park Way, Riacho Fundo I, Riacho Fundo II, Setor de Industria e Abastecimento, Sudoeste/Octogonal, Varjão e Fercal constituíram o grupo de RAs com tipologias de transmissão episódica neste terceiro período. Essas RAs mantiveram essa tipologia de transmissão desde o primeiro período.

Águas Claras, Estrutural, Itapoã, Paranoá, Santa Maria e Sobradinho mantiveram a tipologia de transmissão epidêmica nos três períodos. Guará, Plano Piloto e Recanto das Emas, que apresentaram transmissão epidêmica no segundo período, permaneceram com esse tipo de transmissão no terceiro período. Vicente Pires, que havia apresentado transmissão epidêmica no primeiro período e passou a apresentar transmissão episódica no segundo período, voltou a apresentar tipologia de transmissão epidêmica no terceiro período. Sobradinho II apresentou tipologia de transmissão epidêmica no primeiro período, passou a apresentar transmissão persistente no segundo e voltou a apresentar transmissão epidêmica no terceiro. Ceilândia, Planaltina, Samambaia, Taguatinga e São Sebastião apresentaram tipologia de transmissão persistente. As quatro primeiras mantiveram essa tipologia desde o primeiro período. A última, desde o segundo período.

Depois de caracterizar e atribuir tipologias de transmissão para cada uma das RAs em cada período, construímos uma seqüência longitudinal de tipologias para cada uma delas. Em síntese, obtivemos 8 seqüências de tipologias distintas, representadas no gráfico de frequências abaixo (Figura 15). Observamos que as seqüências mais frequentes são as de permanência na mesma tipologia durante todos os 3 períodos, com destaque para a seqüência exclusivamente composta pela tipologia de transmissão episódica. Em menor proporção, observamos 5 seqüências distintas de transição de tipologias. Essas seqüências retratam as trajetórias epidemiológicas da dengue no espaço intraurbano do Distrito Federal.

Figura 16 - Frequência das 8 sequências de tipologias distintas observadas



Legenda: O eixo Y indica a frequência acumulada das sequências de tipologias. A largura das barras é proporcional à frequência de cada tipologia. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

5.3 TRAJETÓRIAS EPIDEMIOLÓGICAS DA DENGUE

Para caracterizar estas trajetórias, nós analisamos a similaridade entre as sequências de tipologia utilizando o algoritmo *optimal matching* (OM) de análise de sequências de dados categóricos. Primeiramente, nós obtivemos as taxas de transição de uma tipologia para outra (Tabela 8). Podemos observar que há um predomínio de permanência na mesma tipologia. A tipologia de transmissão episódica é a mais estável, com uma probabilidade de apenas 0,07 de mudar para uma tipologia epidêmica no período subsequente. Por outro lado, a tipologia de transmissão persistente tem a maior probabilidade de mudar de tipologia no próximo período.

Tabela 9 - Taxas de transição entre as tipologias

| <i>t</i> | <i>t + 1</i> | | |
|----------------------|--------------|-------------|---------------|
| | → Epidêmica | → Episódica | → Persistente |
| Epidêmica → | 0,80 | 0,05 | 0,15 |
| Episódica → | 0,07 | 0,93 | 0,00 |
| Persistente → | 0,36 | 0,00 | 0,64 |

Legenda: Cada linha mostra quão provável é passar de uma tipologia para outra no próximo momento. Cada linha soma um, indicando todas as possibilidades de transição. Na diagonal, vemos as probabilidades de permanência em uma mesma tipologia (Gabadinho et al., 2011). Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Especificamente, as maiores taxas de transição ocorrem entre a tipologia de transmissão persistente e a de transmissão epidêmica (0,36). A tipologia de transmissão epidêmica tem uma

probabilidade de 0,05 de mudar para uma tipologia de transmissão episódica e de 0,15 para uma tipologia de transmissão persistente. Além disso, podemos notar a ausência de transições diretas entre as tipologias de transmissão persistente e episódica. Isso indica que a tipologia de transmissão epidêmica se caracteriza como um estado intermediário entre estas duas. Utilizamos as taxas de transição para calcular os custos de substituição, que foram utilizados como medidas de dissimilaridade entre as sequências. A partir dessa matriz de dissimilaridade, aplicamos o algoritmo PAM para realizar a análise de agrupamentos das sequências.

Nas figuras 16 e 17 abaixo, observamos os gráficos de silhueta e a visualização dos grupos com a solução de agrupamentos que consideramos mais adequada, a solução com 4 grupos. Apesar de ter o menor tamanho de silhueta ($Si = 0,74$) quando comparado às demais, esta solução parece ser a escolha mais representativa. Ela apresenta grupos com tamanho mais homogêneo quando comparada com a solução com 5 clusters, por exemplo, que apresenta um grupo com apenas 2 observações. Também reflete uma heterogeneidade de trajetórias maior do que a solução com 3 clusters. Além disso, o valor de $Si = 0,74$ ainda é um valor alto, indicando que as observações estão bem agrupadas.

Figura 17 - Valores de Si para soluções de agrupamentos de sequências com $k = 3, 4$ e 5

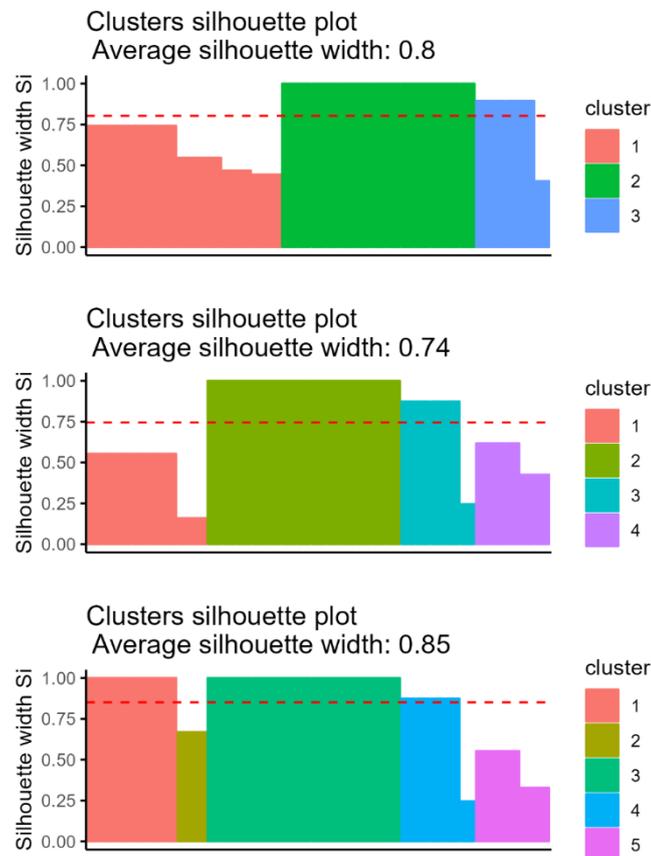
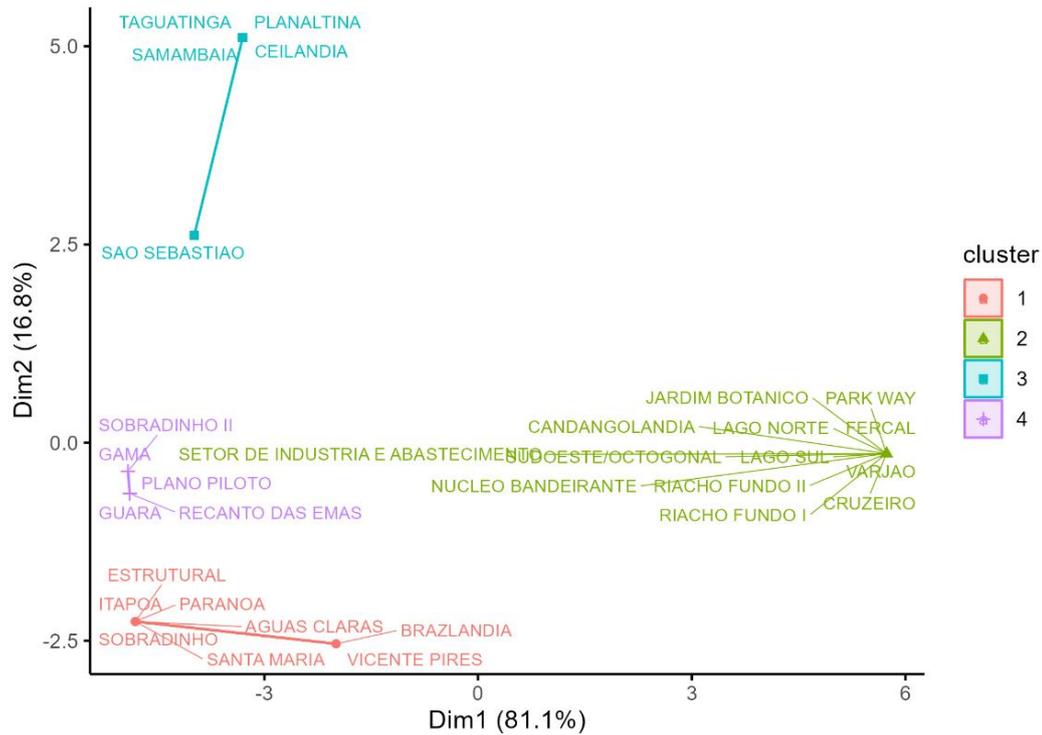
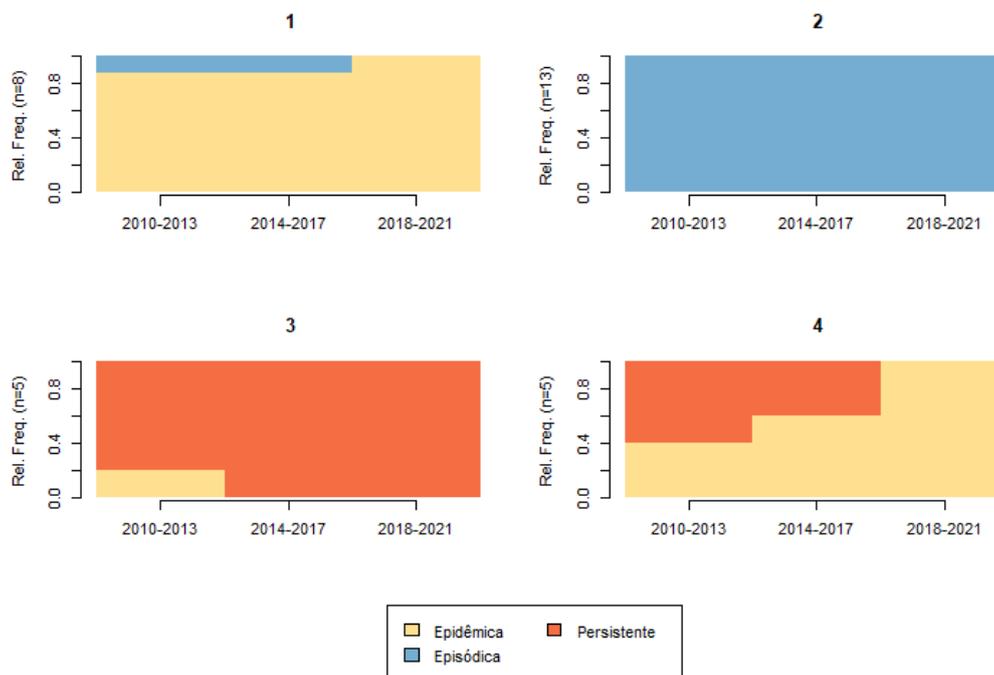


Figura 18 - Visualização do agrupamento com $k = 4$ 

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

A análise de agrupamentos das seqüências nos possibilitou caracterizar as trajetórias epidemiológicas predominantes no DF. Nos gráficos abaixo (Figura 18), observamos que os grupos 1, 2 e 3 são compostos por RAs com seqüências mais estáveis com quase nenhuma mudança, como nos grupos 1 e 3, ou mesmo nenhuma mudança, como no grupo 2. Dessa forma, retratamos os grupos de seqüências 1, 2 e 3 como trajetórias de permanência, que levam os mesmos nomes das tipologias que as compõem. Já no grupo 4 vemos um padrão de transição entre tipologias, com RAs que, no primeiro período apresentavam tipologia de transmissão persistente, em sua maioria, e ao longo dos períodos passaram a apresentar tipologia de transmissão epidêmica.

Figura 19 - Grupos de sequências de tipologias



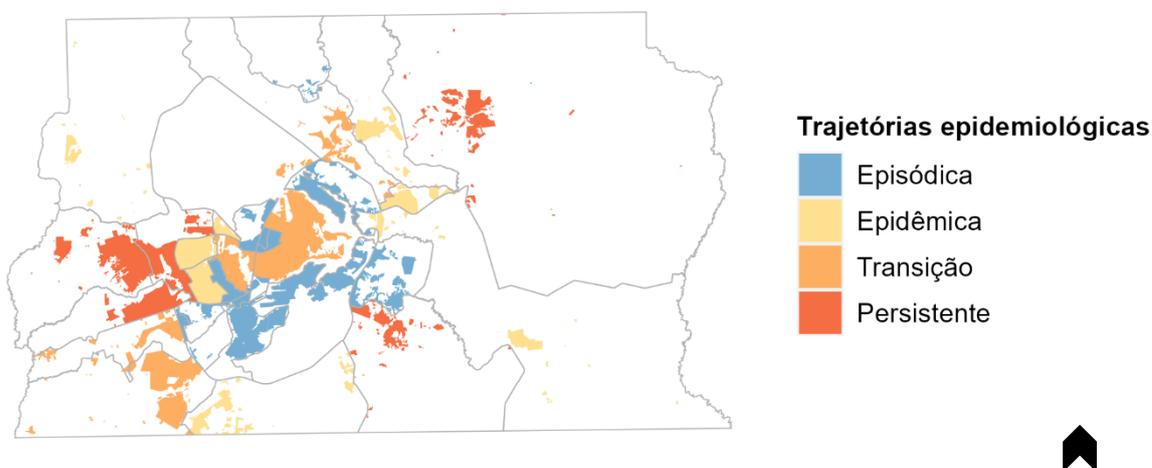
Legenda: Cada gráfico apresenta frequências relativas de sequências e ilustram as sequências atribuídas a cada grupo. Cada cor representa uma das tipologias obtidas anteriormente e a evolução dos períodos é representada ao longo do eixo x. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

As 8 RAs pertencentes ao grupo 1, caracterizadas por uma trajetória epidemiológica de transmissão epidêmica, constituem 25,8% das RAs do DF. Elas estão distribuídas de forma dispersa pelo território: ao norte, Sobradinho, a leste, Paranoá e Itapoã, a noroeste, Brazlândia, a centro-oeste, Estrutural, Águas Claras e Vicente Pires e, ao sul, Santa Maria (Figura 19). As RAs contidas no grupo 2, com trajetórias epidemiológicas de transmissão episódica, estão localizadas principalmente em áreas próximas que circundam o Plano Piloto. Todas as 13 RAs desse grupo mantiveram exclusivamente a tipologia de transmissão episódica ao longo dos três períodos. Elas constituem 41,9% do total de RAs do DF.

As 5 RAs (16,1%) no grupo 3, trajetória epidemiológica de transmissão persistente, permaneceram, em grande parte, com tipologia de transmissão persistente durante os três períodos. Elas estão concentradas a oeste, como Ceilândia, Taguatinga e Samambaia, mas também estão localizadas a nordeste, Planaltina, e a sudeste, São Sebastião.

Outras 5 RAs (16,1%), que estão contidas no grupo 4, trajetória epidemiológica de transição entre tipologia de transmissão persistente e tipologia de transmissão epidêmica, apresentam uma distribuição dispersa. Elas estão localizadas em áreas centrais, como Plano Piloto e Guará, ao norte, em Sobradinho II e a sudoeste, nas RAs Gama e Recanto das Emas.

Figura 20 - Distribuição espacial das trajetórias epidemiológicas



Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

As 10 RAs (32,2%) que apresentaram trajetórias epidemiológicas de transmissão persistente e de transição entre tipologias persistente e epidêmica registraram juntas 66,71% dos casos acumulados de 2010 a 2021. A tabela 10 abaixo mostra o acumulado de casos durante todo o período de estudo e o número de RAs em cada trajetória.

Tabela 10 - Distribuição dos casos acumulados por trajetória epidemiológica

| Trajetoárias | Casos acumulados 2010-2021 | % | Número de RAs | % |
|--------------|----------------------------|--------|---------------|-------|
| Episódica | 14.921 | 8,76% | 13 | 41,9% |
| Epidêmica | 41.791 | 24,53% | 8 | 25,8% |
| Transição | 38.696 | 22,71% | 5 | 16,1% |
| Persistente | 74.957 | 44,00% | 5 | 16,1% |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Se considerarmos o total populacional de cada trajetória, vemos que os valores no início e no final do período são proporcionais aos números de casos, com a trajetória persistente apresentando o maior valor e a episódica o menor valor. O incremento populacional no período foi menor na trajetória de transição (Tabela 11).

Tabela 11 - Total populacional por trajetória

| Trajetoárias | População 2010 | % | População 2020 | % | Incremento | % |
|--------------|----------------|--------|----------------|--------|------------|--------|
| Episódica | 341.825 | 12,95% | 433.465 | 14,20% | 91.640 | 22,17% |
| Epidêmica | 556.010 | 21,07% | 684.758 | 22,43% | 128.748 | 31,15% |

| | | | | | | |
|--------------|------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Transição | 666.835 | 25,27% | 725.288 | 23,76% | 58.453 | 14,14% |
| Persistente | 1.074.542 | 40,71% | 1.209.035 | 39,61% | 134.493 | 32,54% |
| Total | 2.639.212 | 100,00% | 3.052.546 | 100,00% | 413.334 | 100,00% |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

A tabela 12 a seguir mostram as medidas descritivas de população para o ano de 2015. Os valores mínimos, máximos e medianos acompanham o gradiente das trajetórias. A trajetória persistente apresenta uma maior variação dos dados, com intervalo interquartil (IQR) de 35.523 habitantes, enquanto a trajetória de transição apresenta a menor variação (IQR = 15.855 habitantes).

Tabela 12 - Medidas descritivas da população para o ano de 2015

| Trajeto rias | Mínimo | Máximo | Mediana | Q1 | Q3 | IQR |
|--------------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Episódica | 2.574 | 56.353 | 30.034,0 | 16.874,0 | 41.332,0 | 24.458,0 |
| Epidêmica | 34.649 | 148.548 | 66.538,5 | 56924,8 | 85.750,5 | 28.825,8 |
| Transi o | 80.701 | 219.202 | 130.982,0 | 126.008,0 | 141.863,0 | 15.855,0 |
| Persistente | 95.256 | 431.472 | 203.936,0 | 186.090,0 | 221.613,0 | 35.523,0 |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

A tabela 13 mostra as diferenças na incidência média ao longo do período de 2010 a 2021 para as quatro trajetórias. O valor mínimo acompanha o gradiente das trajetórias. No entanto, os valores máximos são encontrados nas trajetórias epidêmica e episódica. As maiores medianas foram encontradas na trajetória epidêmica, seguida da trajetória de transi o. A trajetória episódica apresentou a menor mediana. As maiores varia es foram encontradas nas trajetórias persistente (IQR = 552,73) e epidêmica (IQR = 380,01). A trajetória de transi o apresenta distribui o mais concentrada.

Tabela 13 - Medidas descritivas da incidência média (2010-2021)

| Trajeto rias | Mínimo | Máximo | Mediana | Q1 | Q3 | IQR |
|--------------|--------|-----------|---------|--------|--------|--------|
| Episódica | 93,94 | 1.228,76 | 346,27 | 223,59 | 456,00 | 232,41 |
| Epidêmica | 175,08 | 10.142,57 | 710,33 | 459,06 | 839,07 | 380,01 |
| Transi o | 257,37 | 995,13 | 466,04 | 396,11 | 529,62 | 133,51 |
| Persistente | 337,22 | 1.104,13 | 424,76 | 424,11 | 976,84 | 552,73 |

Legenda: A taxa média é dada pela média do número de casos anuais dividida pela popula o no meio do período (2015) por 100 mil habitantes. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

6 DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, propusemos um modelo de estratificação de risco para dengue na escala intraurbana a partir da caracterização de tipologias transversais de transmissão e de trajetórias epidemiológicas longitudinais. As trajetórias são compostas por sequências de tipologias, permitindo identificar mudanças nos padrões de transmissão a longo prazo. Os indicadores utilizados para caracterizar as tipologias envolviam medidas de magnitude dos casos, tempo/momento do pico da série temporal, duração de períodos com e sem casos, bem como a análise da sazonalidade e tendência da série temporal.

Classificamos três tipologias de transmissão e quatro trajetórias epidemiológicas predominantes. A tipologia de transmissão episódica tem incidência baixa e apresenta surtos esporádicos seguidos por extensos períodos sem transmissão. A tipologia de transmissão epidêmica é caracterizada por uma alta incidência de dengue com padrão sazonal e intervalos onde não há transmissão. A tipologia de transmissão persistente também possui alta incidência, mas com raros ou nenhum período sem transmissão. Das quatro trajetórias encontradas, três apresentaram um padrão de estabilidade, com Regiões Administrativas (RAs) permanecendo, em grande parte, com as mesmas tipologias de transmissão ao longo dos três períodos de estudo. Apenas um grupo apresentou um processo de transição, com RAs que, inicialmente, apresentavam tipologia de transmissão persistente e passaram a apresentar tipologia de transmissão epidêmica ao longo da análise.

Para realizar a análise multivariada inicial, que resultou nas tipologias para os três períodos, padronizamos as variáveis utilizando *Z-score* separadamente para cada período. Isso permitiu a construção de uma matriz de dissimilaridade considerando variáveis com diferentes escalas de medida. Dessa forma, a classificação das tipologias implica numa análise de mudanças relativas e não absolutas (Delmelle, 2022). Dessa maneira, a trajetória de transição de tipologia de transmissão persistente para tipologia de transmissão epidêmica não indica que as RAs desse grupo passaram a apresentar um período menor de transmissão sustentada ou um maior período sem casos em relação ao período anterior. Na verdade, essas RAs não apresentaram valores tão distantes da média no segundo e no terceiro período.

Da mesma forma, um bairro ou área classificado com tipologia de transmissão epidêmica em outra cidade pode não estar dentro do mesmo intervalo de valores dessa classificação das RAs de Brasília. Justamente por isso, essa classificação relativa permite que esse método seja aplicado em outras cidades, com contextos urbanos e ambientais bastante diferentes.

O modelo de classificação de tipologias de transmissão foi baseado no modelo proposto por Almeida, Lana e Codeço (2022) para classificar perfis de transmissão para municípios em diferentes regiões do país. Elas encontraram um resultado muito semelhante, mas com um quarto perfil representando um perfil intermediário entre o episódico e o epidêmico. Isso demonstra a flexibilidade do modelo para diferentes escalas geográficas de análise. Apesar da escala nacional e da escala intraurbana apresentarem determinantes de transmissão diferentes, em ambas, os perfis ou tipologias e trajetórias apresentam relação com o tamanho da população, seguindo o mesmo gradiente. A trajetória de transição de tipologia de transmissão persistente para tipologia de transmissão epidêmica, apesar de continuar apresentando o segundo maior tamanho da população, foi a trajetória que apresentou o menor incremento populacional, o que pode estar relacionado com essa mudança de tipologia.

A estratificação de áreas de risco é uma estratégia recomendada pela Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) para a gestão municipal. Essa Organização elaborou um documento técnico para servir de referência para selecionar métodos e ferramentas de controles de vetor adequada a cada estrato de risco. Os estratos propostos são: áreas sem transmissão, mas com risco entomológico, áreas de baixa transmissão, áreas de transmissão intermediária, áreas de transmissão elevada e áreas de epizootia. Os estratos de baixa, intermediária e elevada transmissão são similares ao gradiente proposto pelas nossas tipologias de transmissão. No entanto, o modelo da OPAS utiliza apenas a taxa de incidência como variável epidemiológica comum para caracterizar a morbidade nesses três estratos (OPAS, 2019). Nosso modelo, por outro lado, permite capturar diferentes aspectos da transmissão, como momento do pico, duração de períodos com e sem casos, influência da sazonalidade e da tendência, comparáveis entre os estratos. Além disso, por não se basear em limiares fixos, é mais adaptável a diferentes contextos.

As áreas com trajetórias de transmissão persistente e de transição, apesar de menores em número (apenas 32,2% das RAs), registraram 66,71% dos casos acumulados durante todo o período. Proporções similares foram encontradas em Maracay, na Venezuela (Barrera *et al.*, 2000), e em Merida, no México (Bisanzio *et al.*, 2018). Direcionar as ações de controle para esses estratos pode impedir a propagação da doença para outras áreas da cidade e reduzir as transmissões de maneira geral (OPAS, 2019).

Nesse estudo, consideramos a delimitação das RAs existentes até 2018, mas nossos dados vão até 2021. Em 2018, a RA Jardim Botânico sofreu alterações na sua delimitação, passando a ter uma área maior, com a integração de partes das áreas das RAs São Sebastião e Santa Maria. Além disso, em 2019, foram criadas as RAs Arniqueira e Sol Nascente/Pôr do

Sol, se desmembrando das RAs Águas Claras e Ceilândia respectivamente. Dessa forma, nossa análise utiliza zonas geográficas “congeladas” em 2018, tornando-as menos apropriadas para aplicações mais atuais (Norman; Rees; Boyle, 2003). No entanto, optamos por manter o menor número de RAs para preservar a série histórica.

A escolha da unidade de análise da RA nos deixou com um número de apenas 31 áreas, o que, para uma cidade do tamanho de Brasília, é um número muito pequeno. Apesar das RAs apresentarem desigualdades relevantes entre si, elas também possuem heterogeneidades internas que não são percebidas nesse nível de análise. Além disso, uma área muito grande pode dificultar a alta cobertura das ações de controle do vetor e comprometer o poder estatístico (OPAS, 2019).

Estratificações que incluam outros tipos de indicadores, construídos a partir de dados socioeconômicos e ambientais, que retratem a vulnerabilidade das populações e a receptividade ao vetor também são relevantes para o planejamento e a priorização de áreas de ações da vigilância (Santos *et al.*, 2020; Siqueira *et al.*, 2022). Assim, como principais perspectivas de trabalhos futuros, pretendemos realizar análises com unidades espaciais menores e que retratem as heterogeneidades do espaço intraurbano e também incluir indicadores que retratem outros aspectos das populações e dos territórios.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa atende a demanda por uma metodologia de estratificação de áreas de risco para dengue a nível intraurbano. Utilizamos apenas dados epidemiológicos, disponíveis na maioria dos municípios e de fácil acesso aos serviços de vigilância em saúde. A partir desses dados, calculamos indicadores que representam diferentes aspectos temporais da doença, tais como magnitude dos casos, tempo/momento do pico da série, duração de períodos com e sem casos e medidas de sazonalidade e tendências.

A partir desses indicadores, caracterizamos três tipologias de transmissão da dengue durante três períodos de quatro anos: episódica, epidêmica e persistente. Analisamos as sequências das tipologias para caracterizar as trajetórias epidemiológicas da dengue, capturando as mudanças ocorridas a longo prazo. Encontramos quatro trajetórias, três delas de permanência na mesma tipologia e uma delas apresentando uma transição entre as tipologias persistente e epidêmica.

Por não utilizar limiares fixos, esse modelo é flexível e adaptável a diferentes contextos e escalas de análise. Além disso, a estratificação de tipologias e trajetórias permite o planejamento de ações de vigilância e controle específicas para cada cenários. Configura-se assim, numa ferramenta relevantes para os serviços de vigilância em saúde.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, Andrew; TSAY, Angela. Sequence Analysis and Optimal Matching Methods in Sociology: Review and Prospect. **Sociological Methods & Research**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 3–33, 2000. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0049124100029001001>. Acesso em: 9 ago. 2023.

AGRESTI, Alan; FINLAY, Barbara. **Statistical Methods for the Social Sciences**. 4. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009.

ALMEIDA, Iasmim Ferreira; LANA, Raquel Martins; CODEÇO, Cláudia Torres. How heterogeneous is the dengue transmission profile in Brazil? A study in six Brazilian states. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 16, n. 9, p. e0010746, 2022. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0010746>. Acesso em: 14 out. 2023.

ANGELIN, Martin *et al.* Qdenga® - A promising dengue fever vaccine; can it be recommended to non-immune travelers?. **Travel Medicine and Infectious Disease**, [s. l.], v. 54, p. 102598, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1477893923000583>. Acesso em: 14 nov. 2023.

ANGELO, Marco *et al.* Dengue Surveillance System in Brazil: A Qualitative Study in the Federal District. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 2062, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/6/2062>. Acesso em: 14 nov. 2023.

ARAÚJO, Ricardo Vieira *et al.* São Paulo urban heat islands have a higher incidence of dengue than other urban areas. **The Brazilian Journal of Infectious Diseases: An Official Publication of the Brazilian Society of Infectious Diseases**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 146–155, 2015.

BARCELLOS, Christovam *et al.* Identificação de locais com potencial de transmissão de dengue em Porto Alegre através de técnicas de geoprocessamento. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 246–250, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0037-86822005000300008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 3 set. 2020.

BARCELLOS, Christovam; LOWE, Rachel. Expansion of the dengue transmission area in Brazil: the role of climate and cities. **Tropical Medicine & International Health**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 159–168, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tmi.12227>. Acesso em: 4 set. 2020.

BARRERA, Roberto *et al.* Estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico. **Revista Panamericana de Salud Pública**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 225–233, 2000. Disponível em: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892000000900001&lng=es&nrm=iso&tlng=es. Acesso em: 6 nov. 2023.

BARRETO, Florisneide R. *et al.* Spread pattern of the first dengue epidemic in the city of Salvador, Brazil. **BMC public health**, [s. l.], v. 8, p. 51, 2008.

BASURKO, Célia *et al.* Estimating the Risk of Vertical Transmission of Dengue: A

Prospective Study. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, [s. l.], v. 98, n. 6, p. 1826–1832, 2018. Disponível em: <https://ajtmh.org/doi/10.4269/ajtmh.16-0794>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BHATT, Samir *et al.* The global distribution and burden of dengue. **Nature**, [s. l.], v. 496, n. 7446, p. 504–507, 2013. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature12060>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BISANZIO, Donal *et al.* Spatio-temporal coherence of dengue, chikungunya and Zika outbreaks in Merida, Mexico. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. e0006298, 2018. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0006298>. Acesso em: 6 nov. 2023.

BRASIL. **A Experiência Brasileira Em Sistemas De Informação Em Saúde**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2009. (B. Textos Básicos De Saúde). v. 1 Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/experiencia_brasileira_sistemas_saude_volume1.pdf.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Anvisa aprova nova vacina contra a dengue**. [S. l.], 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2023/anvisa-aprova-nova-vacina-para-a-dengue>. Acesso em: 6 nov. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Dengue: diagnóstico e manejo clínico: adulto e criança**. 5. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/dengue/dengue-manejo-adulto-crianca-5d-1.pdf/view>.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Ministério da Saúde incorpora vacina contra a dengue no SUS**. [S. l.], 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2023/dezembro/ministerio-da-saude-incorpora-vacina-contr-a-dengue-no-sus>. Acesso em: 2 fev. 2024.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Mortalidade Infantil**. Brasília: DATASUS, 2019a.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Vigilância em Saúde no Brasil 2003 | 2019: da criação da Secretaria de Vigilância em Saúde aos dias atuais**. Brasília: [s. n.], 2019b. Boletim Epidemiológico.

CAO, Zheng *et al.* Individual and Interactive Effects of Socio-Ecological Factors on Dengue Fever at Fine Spatial Scale: A Geographical Detector-Based Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 14, n. 7, 2017.

CARVALHO, Júlia; CASEMIRO, Poliana; PEIXOTO, Roberto. Uso no SUS da vacina contra dengue aprovada pela Anvisa teria “impacto orçamentário muito elevado”, diz ministério. **G1**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/saude/noticia/2023/11/12/uso-no-sus-da-vacina-contr-a-dengue-aprovada-pela-anvisa-teria-impacto-orcamentario-muito-elevado-diz-ministerio.ghtml>. Acesso em: 14 nov. 2023.

CARVALHO, Sílvia; MAGALHÃES, Mônica de Avelar Figueiredo Mafra; MEDRONHO, Roberto de Andrade. Analysis of the spatial distribution of dengue cases in the city of Rio de Janeiro, 2011 and 2012. **Revista De Saude Publica**, [s. l.], v. 51, p. 79, 2017.

CASTRO, Kássia Batista; LIMA, Larissa Ane de Sousa. **Atlas do Distrito Federal**. Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2020.

CODEPLAN, GDF. **Estimativas do volume populacional por RA segundo o estudo “Projeções Populacionais 2010-2020” e a Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios - PDAD 2018**. Brasília: CODEPLAN, 2020. Nota metodológica. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/NM-Estimativas-do-volume-populacional-por-RA-segundo-o-estudo-Proje%C3%A7%C3%B5es-Populacionais-2010-2020-e-a-PDAD-2018.pdf>. .

CORDEIRO, Ricardo *et al.* Spatial distribution of the risk of dengue fever in southeast Brazil, 2006-2007. **BMC Public Health**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 355, 2011. Disponível em: <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-11-355>. Acesso em: 19 nov. 2023.

COSTA, Lúcio. **Brasília revisitada**. Brasília: [s. n.], 1987.

COSTA, Lúcio. **Relatório do Plano Piloto de Brasília**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/lucio_costa_miolo_2018_reimpressao_.pdf. Acesso em: 6 fev. 2024.

CUNHA, Maria Da Consolação Magalhães *et al.* Fatores associados à infecção pelo vírus do dengue no Município de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, Brasil: características individuais e diferenças intra-urbanas. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 17, n. 3, 2008. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742008000300007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 19 nov. 2023.

CZERESNIA, Dina; RIBEIRO, Adriana Maria. O conceito de espaço em epidemiologia: uma interpretação histórica e epistemológica. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 595–605, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2000000300002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 5 nov. 2023.

DELMELLE, Elizabeth C. GIScience and neighborhood change: Toward an understanding of processes of change. **Transactions in GIS**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 567–584, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tgis.12871>. Acesso em: 30 abr. 2023.

DELMELLE, Elizabeth C. Mapping the DNA of Urban Neighborhoods: Clustering Longitudinal Sequences of Neighborhood Socioeconomic Change. **Annals of the American Association of Geographers**, [s. l.], v. 106, n. 1, p. 36–56, 2016. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00045608.2015.1096188>. Acesso em: 7 abr. 2023.

DONALÍSIO, Maria Rita. **O dengue no espaço habitado**. São Paulo: Hucitec, 1999.

DRUMOND, Bruna *et al.* Dinâmica espaço-temporal da dengue no Distrito Federal, Brasil: ocorrência e permanência de epidemias. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 1641–1652, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232020000501641&tlng=pt. Acesso em: 24 out. 2023.

FERREIRA, Ignez Costa Barbosa. O processo de urbanização e a produção do espaço

metropolitano de Brasília. *In*: BRASÍLIA, IDEOLOGIA E REALIDADE: ESPAÇO URBANO EM QUESTÃO. 2. ed. Brasília: UnB, 2010. p. 61–81.

FLAUZINO, Regina Fernandes *et al.* Spatial heterogeneity of dengue fever in local studies, City of Niterói, Southeastern Brazil. **Revista De Saude Publica**, [s. l.], v. 43, n. 6, p. 1035–1043, 2009.

FLAUZINO, Regina Fernandes; SOUZA-SANTOS, Reinaldo; OLIVEIRA, Rosely Magalhães. Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. **Rev. panam. salud pública**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 456–461, 2009. Disponível em: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892009000500012.

FREITAS, Laís Picinini *et al.* Space-time dynamics of a triple epidemic: dengue, chikungunya and Zika clusters in the city of Rio de Janeiro. **Proceedings. Biological Sciences**, [s. l.], v. 286, n. 1912, p. 20191867, 2019.

GABADINHO, Alexis *et al.* Analyzing and Visualizing State Sequences in R with **TraMineR**. **Journal of Statistical Software**, [s. l.], v. 40, n. 4, 2011. Disponível em: <http://www.jstatsoft.org/v40/i04/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

GALLI, Bruno; CHIARAVALLOTI NETO, Francisco. Temporal-spatial risk model to identify areas at high-risk for occurrence of dengue fever. **Revista De Saude Publica**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 656–663, 2008.

GDF. **Administrações Regionais – GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.df.gov.br/administracoes-regionais/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GREENLEE, Andrew J. Assessing the Intersection of Neighborhood Change and Residential Mobility Pathways for the Chicago Metropolitan Area (2006–2015). **Housing Policy Debate**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 186–212, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10511482.2018.1476898>. Acesso em: 8 ago. 2023.

GUBLER, Duane J. Cities spawn epidemic dengue viruses. **Nature Medicine**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 129–130, 2004. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nm0204-129>. Acesso em: 18 nov. 2023.

GUBLER, Duane J. Dengue, Urbanization and Globalization: The Unholy Trinity of the 21st Century. **Tropical Medicine and Health**, [s. l.], v. 39, n. 4SUPPLEMENT, p. S3–S11, 2011. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmh/39/4SUPPLEMENT/39_2011-S05/_article. Acesso em: 5 nov. 2023.

GUZMAN, Maria G. *et al.* Dengue infection. **Nature Reviews Disease Primers**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–25, 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrdp201655>. Acesso em: 27 maio 2023.

HAIR, Joseph F. *et al.* **Multivariate data analysis**. Eighth edition. Andover, Hampshire: Cengage, 2019.

HOLANDA, Frederico de *et al.* A configuração da Área Metropolitana de Brasília. *In*: BRASÍLIA: TRANSFORMAÇÕES NA ORDEM URBANA. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. (Estudos comparativos).

HONÓRIO, Nildimar Alves *et al.* Dispersal of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in an urban endemic dengue area in the State of Rio de Janeiro, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, [s. l.], v. 98, p. 191–198, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mioc/a/p9NJwchbVrftyFPjYkV8Zsx/?lang=en>. Acesso em: 20 nov. 2023.

IBGE. **Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Domicílios. Resultados do Universo**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2011. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf. Acesso em: 9 jul. 2020.

IBGE. **População no último censo**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>. Acesso em: 20 fev. 2024.

IBGE. **Rendimento nominal mensal domiciliar per capita**. [S. l.]: IBGE, 2022. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua).

INMET. Normal Climatológica do Brasil 1981-2010. , 2021. Disponível em: www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas.

KASSAMBARA, Alboukadel. **Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests**. versão 0.7.2. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/rstatix/rstatix.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2023.

KASSAMBARA, Alboukadel. **Practical Guide to Cluster Analysis in R. Unsupervised Machine Learning**. [S. l.]: STHDA, 2017. (Multivariate Analysis I).

KASSAMBARA, Alboukadel; MUNDT, Fabian. **Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses**. versão 1.0.7. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/index.html>. Acesso em: 30 out. 2023.

KAUFMAN, Leonard; ROUSSEEUW, Peter J. **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**. Hoboken, N.J: Wiley, 2005. (Wiley series in probability and mathematical statistics).

LABOISSIÈRE, Paula. Laboratório pede incorporação da vacina contra dengue no SUS. **Agência Brasil**, [s. l.], 9 ago. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2023-08/laboratorio-pede-incorporacao-da-vacina-contra-dengue-no-sus>. Acesso em: 6 nov. 2023.

LANA, Raquel Martins *et al.* The introduction of dengue follows transportation infrastructure changes in the state of Acre, Brazil: A network-based analysis. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 11, n. 11, p. e0006070, 2017. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0006070>. Acesso em: 14 out. 2023.

LEE, Sophie A *et al.* The impact of climate suitability, urbanisation, and connectivity on the expansion of dengue in 21st century Brazil. **PLOS NEGLECTED TROPICAL DISEASES**, [s. l.], v. 15, n. 12, 2021.

LEI ORGÂNICA DO DISTRITO FEDERAL. 1993. Disponível em: <http://www.fazenda.df.gov.br/aplicacoes/legislacao/legislacao/TelaSaidaDocumento.cfm?txtNumero=0&txtAno=0&txtTipo=290&txtParte=>. Acesso em: 2 fev. 2024.

LOUIS, Valérie R. *et al.* Modeling tools for dengue risk mapping - a systematic review. **International Journal of Health Geographics**, [s. l.], v. 13, p. 50, 2014.

LOWE, Rachel *et al.* Combined effects of hydrometeorological hazards and urbanisation on dengue risk in Brazil: a spatiotemporal modelling study. **The Lancet Planetary Health**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. e209–e219, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2542519620302928>. Acesso em: 6 nov. 2023.

LOWE, Rachel *et al.* The Zika Virus Epidemic in Brazil: From Discovery to Future Implications. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 96, 2018. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1660-4601/15/1/96>. Acesso em: 5 nov. 2023.

MACHADO, Juliana Pires; OLIVEIRA, Rosely Magalhães de; SOUZA-SANTOS, Reinaldo. Spatial analysis of dengue occurrence and living conditions in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro State, Brazil. **Cadernos De Saude Publica**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 1025–1034, 2009.

MAECHLER, Martin *et al.* **“Finding Groups in Data”: Cluster Analysis Extended Rousseeuw et al. versão 2.1.4.** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/cluster/cluster.pdf>.

MANIÇOBA, Regina De S. CRIAÇÃO DE REGIÕES ADMINISTRATIVAS NO DISTRITO FEDERAL E O HISTÓRICO DA DEFINIÇÃO DE SEUS LIMITES GEOGRÁFICOS. **Revista Eletrônica: Tempo - Técnica - Território / Eletronic Magazine: Time - Technique - Territory**, [s. l.], v. 10, n. 2, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ciga/article/view/33529>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MARQUES-TOLEDO, Cecilia A. *et al.* Probability of dengue transmission and propagation in a non-endemic temperate area: conceptual model and decision risk levels for early alert, prevention and control. **Parasites & Vectors**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 38, 2019. Disponível em: <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-018-3280-z>. Acesso em: 24 out. 2023.

MARTI, Renaud *et al.* A Mapping Review on Urban Landscape Factors of Dengue Retrieved from Earth Observation Data, GIS Techniques, and Survey Questionnaires. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 932, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/932>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MEDEIROS, Ana Elisabeth; CAMPOS, Neio Lúcio de. Cidade projetada, construída, tombada e vivenciada: pensando o planejamento urbano em Brasília. *In*: BRASÍLIA 50 ANOS: DA CAPITAL A METRÓPOLE. Brasília: UnB, 2010. p. 137–161.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MESSINA, Jane P. *et al.* The current and future global distribution and population at risk of dengue. **Nature Microbiology**, [s. l.], v. 4, n. 9, p. 1508–1515, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41564-019-0476-8>. Acesso em: 18 nov. 2023.

MESSINA, Jane P. *et al.* The many projected futures of dengue. **Nature Reviews Microbiology**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 230–239, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrmicro3430>. Acesso em: 18 nov. 2023.

MONDINI, Adriano; CHIARAVALLI-NETO, Francisco. Spatial correlation of incidence of dengue with socioeconomic, demographic and environmental variables in a Brazilian city. **The Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 393, n. 2–3, p. 241–248, 2008.

MULLIGAN, Kate *et al.* Is dengue a disease of poverty? A systematic review. **Pathogens and Global Health**, [s. l.], v. 109, n. 1, p. 10–18, 2015. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/2047773214Y.0000000168>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MUSTAFA, M.S. *et al.* Discovery of fifth serotype of dengue virus (DENV-5): A new public health dilemma in dengue control. **Medical Journal Armed Forces India**, [s. l.], v. 71, n. 1, p. 67–70, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377123714001725>. Acesso em: 16 nov. 2023.

NORMAN, Paul; REES, Philip; BOYLE, Paul. Achieving data compatibility over space and time: creating consistent geographical zones. **International Journal of Population Geography**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. 365–386, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijpg.294>. Acesso em: 26 set. 2023.

OLIVEIRA, Rosely Magalhães De; VALLA, Victor Vincent. As condições e as experiências de vida de grupos populares no Rio de Janeiro: repensando a mobilização popular no controle do dengue. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 17, n. suppl, p. S77–S88, 2001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2001000700016&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 18 nov. 2023.

OPAS. **Documento técnico para a implementação de intervenções baseado em cenários operacionais genéricos para o controle do Aedes aegypti**. Washington, DC: [s. n.], 2019.

OSANAI, Carlos H. *et al.* Surto de dengue em Boa Vista, Roraima. Nota Prévia. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 53–54, 1983.

PATRIOTA DE MOURA, Cristina Patriota De; JANUZZI, Vinicius Prado. Brasília classificada: novos espaços de classe média na capital federal. **Tempo Social**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 113–134, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/ts/article/view/151261>. Acesso em: 6 fev. 2024.

PAVIANI, Aldo. GEOGRAFIA URBANA DO DISTRITO FEDERAL: EVOLUÇÃO E TENDÊNCIAS. **Espaço e Geografia**, [s. l.], v. 10, n. 1, 2007.

PIMENTA JUNIOR, Fabiano Geraldo. Gestão e planejamento na prevenção e no controle do dengue. *In: DENGUE: TEORIAS E PRÁTICAS*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2015. p. 381–406.

PNUD; FJP; IPEA. **Atlas Brasil**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em: 13 out. 2023.

R CORE TEAM. **R: The R Project for Statistical Computing**. versão 4.3.1. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 27 out. 2023.

REITER, P. *et al.* Short report: dispersal of *Aedes aegypti* in an urban area after blood feeding as demonstrated by rubidium-marked eggs. **The American Journal of Tropical Medicine**

and Hygiene, [s. l.], v. 52, n. 2, p. 177–179, 1995.

RESENDES, Ana Paula Da Costa *et al.* Determinação de áreas prioritárias para ações de controle da dengue. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 274–282, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102010000200007&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 14 nov. 2023.

ROMEO-AZNAR, Victoria *et al.* Fine-scale heterogeneity in population density predicts wave dynamics in dengue epidemics. **Nature Communications**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 996, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-28231-w>. Acesso em: 6 nov. 2023.

SAN PEDRO, Alexandre *et al.* Condições particulares de produção e reprodução da dengue em nível local: estudo de Itaipu, Região Oceânica de Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 1937–1946, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2009000900008&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 18 nov. 2023.

SANTOS, Jefferson Pereira Caldas *et al.* A Perspective on Inhabited Urban Space: Land Use and Occupation, Heat Islands, and Precarious Urbanization as Determinants of Territorial Receptivity to Dengue in the City of Rio De Janeiro. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 17, n. 18, p. 6537, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/18/6537>. Acesso em: 6 nov. 2023.

SANTOS, Jefferson Pereira Caldas Dos *et al.* ARBOALVO: estratificação territorial para definição de áreas de pronta resposta para vigilância e controle de arboviroses urbanas em tempo oportuno. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. e00110121, 2022. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2022000305008&tlng=pt. Acesso em: 14 nov. 2023.

SILVEIRA, Bruna *et al.* Dengue e desigualdades socioespaciais no Distrito Federal, Brasil (2007-2014). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA DA SAÚDE, 2017, Dourados. **Anais do VIII Simpósio Nacional de Geografia da Saúde**. Dourados: UFGD, 2017.

SIQUEIRA, Alexandre San Pedro *et al.* ArboAlvo: método de estratificação da receptividade territorial às arboviroses urbanas. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 56, p. 39, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/vcFrknTThctxCwKYNvdNjpN/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 3 out. 2023.

SIQUEIRA, Rogerio *et al.* RELAÇÕES ENTRE A DINÂMICA AMBIENTAL E A DENGUE NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, [s. l.], v. 13, n. 26, 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/39740>.

SOUZA, Ludmila Sophia; BARATA, Rita De Cássia Barradas. Diferenciais intraurbanos na distribuição de dengue em Cuiabá, 2007 e 2008. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 761–770, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2012000400008&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 19 nov. 2023.

TEIXEIRA, Maria Glória *et al.* Epidemiological Trends of Dengue Disease in Brazil (2000–

2010): A Systematic Literature Search and Analysis. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. e2520, 2013. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0002520>. Acesso em: 19 nov. 2023.

TEIXEIRA, Tatiana Rodrigues de Araujo; MEDRONHO, Roberto de Andrade. [Socio-demographic factors and the dengue fever epidemic in 2002 in the State of Rio de Janeiro, Brazil]. **Cadernos De Saude Publica**, [s. l.], v. 24, n. 9, p. 2160–2170, 2008.

TEURLAI, Magali *et al.* Socio-economic and Climate Factors Associated with Dengue Fever Spatial Heterogeneity: A Worked Example in New Caledonia. **PLoS neglected tropical diseases**, [s. l.], v. 9, n. 12, p. e0004211, 2015.

TJADEN, Nils Benjamin *et al.* Extrinsic Incubation Period of Dengue: Knowledge, Backlog, and Applications of Temperature Dependence. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. e2207, 2013. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0002207>. Acesso em: 16 nov. 2023.

VANLERBERGHE, Veerle *et al.* Changing paradigms in Aedes control: considering the spatial heterogeneity of dengue transmission. **Rev Panam Salud Publica**, [s. l.], 2017.

WEI, Taiyun *et al.* **Visualization of a Correlation Matrix**. versão 0.92. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot/corrplot.pdf>. Acesso em: 24 out. 2023.

WEN, Tzai-Hung *et al.* Spatial mapping of temporal risk characteristics to improve environmental health risk identification: A case study of a dengue epidemic in Taiwan. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 367, n. 2–3, p. 631–640, 2006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969706001203>. Acesso em: 24 out. 2023.

WEN, Tzai-Hung *et al.* Spatial-temporal patterns of dengue in areas at risk of dengue hemorrhagic fever in Kaohsiung, Taiwan, 2002. **International journal of infectious diseases: IJID: official publication of the International Society for Infectious Diseases**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. e334-343, 2010.

WHO. **Dengue and severe dengue**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>. Acesso em: 16 nov. 2023.

WHO. **Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control: new edition**. [S. l.]: World Health Organization, 2009. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44188>. Acesso em: 27 maio 2023.

XAVIER, Diego Ricardo *et al.* Spatial-temporal diffusion of dengue in the municipality of Rio de Janeiro, Brazil, 2000-2013. **Cadernos De Saude Publica**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. e00186615, 2017.

APÊNDICE A – ARTIGO FORMATADO

Trajетórias epidemiológicas da dengue no espaço intraurbano: Análise das mudanças de tipologias de transmissão por Região Administrativa no Distrito Federal (2010-2021)

Epidemiological trajectories of dengue in the intra-urban space: Analysis of changes in transmission typologies by Administrative Region in the Federal District (2010-2021)

Resumo:

A dengue continua sendo um desafio importante para a saúde pública no Brasil. O principal objetivo deste estudo é analisar as trajetórias epidemiológicas da dengue em um espaço intraurbano, focando nas mudanças das tipologias de transmissão. A pesquisa utilizou indicadores temporais para caracterizar tipologias de transmissão da dengue e examinou as mudanças ao longo do tempo, definindo trajetórias epidemiológicas. Analisamos dados de vigilância de casos suspeitos de dengue no Distrito Federal de 2010 a 2021, considerando a Região Administrativa como unidade espacial e a semana epidemiológica como unidade temporal. Aplicamos um modelo de estratificação de risco no nível intraurbano, utilizando indicadores temporais que refletem a magnitude dos casos, o tempo do pico, a duração dos períodos com e sem casos notificados, e a sazonalidade e tendência das séries temporais. Classificamos três tipologias de transmissão da dengue (episódica, epidêmica e persistente) e quatro trajetórias epidemiológicas (episódica, epidêmica, transição e persistente). Das quatro trajetórias predominantes encontradas, três apresentaram um padrão de estabilidade, com Regiões Administrativas (RAs) permanecendo, em grande parte, com as mesmas tipologias de transmissão ao longo dos três períodos de estudo. Apenas um grupo apresentou um processo de transição. As áreas com trajetórias de transmissão persistente e de transição, apesar de menores em número (apenas 32,2% das RAs), registraram 66,71% dos casos acumulados durante todo o período. O estudo propõe uma nova abordagem para entender a dinâmica de transmissão da dengue em espaços urbanos, oferecendo evidências sobre as trajetórias epidemiológicas. Os achados ressaltam a importância de estratégias de controle voltadas para contexto de recursos limitados e a necessidade de seleção de intervenções eficazes e apropriadas. A metodologia apresentada pode ser aplicada em outras áreas urbanas.

Palavras-chave: Trajetórias Epidemiológicas; Tipologias de Transmissão; Dinâmica espaço-temporal da dengue; Modelo de Estratificação de Risco; Vigilância em Saúde

Abstract:

Dengue remains a significant public health challenge in Brazil. The main objective of this study is to analyze the epidemiological trajectories of dengue in an intra-urban space, focusing on changes in transmission typologies. The research used temporal indicators to characterize dengue transmission typologies and examined changes over time, defining epidemiological trajectories. We analyzed surveillance data on suspected dengue cases in the Federal District from 2010 to 2021, considering the Administrative Region as a spatial unit and the epidemiological week as a temporal unit. We applied a risk stratification model at the intra-urban level, using temporal indicators that reflect the magnitude of cases, the time of the peak, the duration of periods with and without reported cases, and the seasonality and trend of the time series. We classify three typologies of dengue transmission (episodic, epidemic, and persistent) and four epidemiological trajectories (episodic, epidemic, transition, and persistent). Of the four predominant trajectories found, three presented a pattern of stability, with Administrative Regions (RAs) remaining, to a large extent, with the same transmission typologies throughout the three study periods. Only one group presented a transition process. Areas with persistent and transitional transmission trajectories, despite being smaller in number (only 32.2% of RAs), recorded 66.71% of the accumulated cases throughout the entire period. The study proposes a new approach to understanding

the dynamics of dengue transmission in urban spaces, offering evidence on epidemiological trajectories. The findings highlight the importance of control strategies aimed at resource-limited contexts and the need to select effective and appropriate interventions. The presented methodology can be applied in other urban areas.

Keywords: Epidemiological Trajectories; Transmission Typologies; Spatio-temporal dynamics of dengue; Risk Stratification Model; Health Surveillance

INTRODUÇÃO

Quarenta anos depois de sua reemergência no Brasil (Osana *et al.*, 1983), a dengue continua sendo um desafio importante para a Saúde Pública no país. Atualmente, apesar de ações de prevenção e controle da vigilância em saúde, a doença é hiperendêmica, com a circulação de quatro diferentes sorotipos, sobretudo nas grandes e médias cidades (Barcellos; Lowe, 2014; Lee *et al.*, 2021). Essa conjuntura se tornou ainda mais complexa nos últimos anos, com a emergência da chikungunya, em 2014, e do vírus da Zika, em 2015 (Brasil, 2019b). A rápida expansão dessas arboviroses pelo território nacional provocou epidemias onde já existia transmissão da dengue e, portanto, infestação permanente do seu principal vetor, a fêmea do *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae) (Brasil, 2019b; Lowe *et al.*, 2018).

Esse mosquito utiliza reservatórios artificiais de água como criadouros e encontra, no ambiente urbano, condições ideais para sua reprodução e desenvolvimento, tais como a alta densidade demográfica, os deslocamentos populacionais, problemas de infraestrutura e de acesso a serviços públicos, principalmente nas periferias (Czeresnia; Ribeiro, 2000; Donalísio, 1999; Gubler, 2011). Esses problemas são agravados no contexto de mudanças climáticas e maior ocorrência de eventos extremos (Lowe *et al.*, 2021), representando um grande desafio para o controle da dengue.

As vacinas já licenciadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) ainda não foram incorporadas ao Sistema Único de Saúde (SUS), não estando acessíveis à maioria da população. Além disso, os imunizantes não são indicados para crianças menores de 4 anos e idosos acima dos 60, população mais vulnerável aos casos graves da doença (Angelin *et al.*, 2023; Brasil, 2023a; Carvalho; Casemiro; Peixoto, 2023; Laboissière, 2023). Assim, as principais estratégias de prevenção da dengue ainda envolvem o controle do vetor.

Essas estratégias, operacionalizadas pelas Secretarias Municipais de Saúde (SMS), costumam ser localizadas e dificilmente são implementadas em todo o município (OPAS, 2019; Pimenta Junior, 2015). Além disso, muitas dessas ações não consideram a heterogeneidade de padrões de transmissão e de características sociais e ambientais no espaço intraurbano. Diante

das limitações de recursos, as gestões locais precisam aplicar estratégias de estratificação de risco para a seleção de intervenções mais adequadas e efetivas (OPAS, 2019; Vanlerberghe *et al.*, 2017).

Existem duas principais abordagens de estratificação de áreas prioritárias para o controle da dengue em estudos feitos na escala intraurbana: uma baseada em medidas de incidência da doença (Drumond *et al.*, 2020; Freitas *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2022; Xavier *et al.*, 2017) e outra baseada em medidas de vulnerabilidade. Estas podem variar bastante, mas costumam incluir variáveis entomológicas, demográficas e ambientais (Resendes *et al.*, 2010; Romeo-Aznar *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2020; Siqueira *et al.*, 2022; Vanlerberghe *et al.*, 2017).

Os dados entomológicos muitas vezes não estão disponíveis para todas as áreas ou períodos. Dados demográficos e ambientais podem estar desatualizados ou necessitarem de maiores investimentos financeiros e de recursos humanos. Por outro lado, o uso de dados de casos notificados, apesar de problemas de subnotificação, pode ser uma forma simples e eficaz para a estratificação de áreas de risco. Esses dados estão disponíveis na maioria dos municípios e fazem parte da rotina dos serviços de vigilância em saúde (Vanlerberghe *et al.*, 2017).

Nessa tese, propomos um modelo de estratificação de risco a nível intraurbano utilizando indicadores epidemiológicos que abrangem diversos aspectos do comportamento temporal da doença em diferentes áreas da cidade. Esses indicadores foram utilizados para caracterizar tipologias de transmissão da dengue. Também analisamos as mudanças dessas tipologias ao longo do tempo, caracterizando mudanças nos regimes de transmissão, que chamamos de trajetórias epidemiológicas, tendo como exemplo empírico o Distrito Federal (DF) brasileiro no período 2010 a 2021.

MÉTODOS

Trata-se de um estudo ecológico de abordagem espaço-temporal. Analisamos a distribuição de dados secundários de casos prováveis de dengue no Distrito Federal (DF) de 2010 a 2021. Utilizamos Região Administrativa (RA) como unidade espacial de análise e a semana epidemiológica (SE) como unidade temporal de análise.

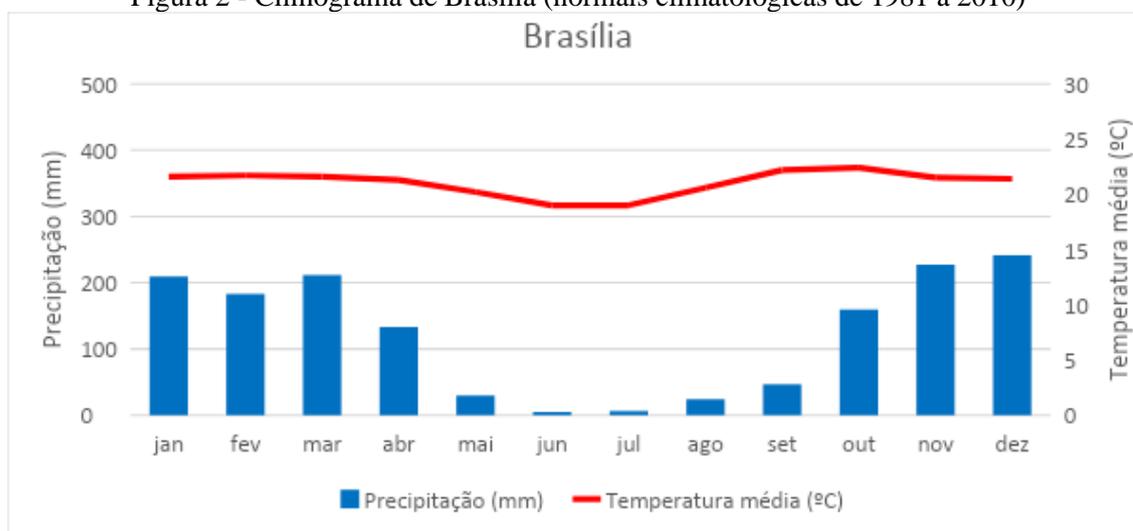
ÁREA DE ESTUDO

O DF está localizado no bioma Cerrado, a 15°46'47" de Latitude Sul e a 47°55'47" de Longitude Oeste, ocupando uma área de 5.706,784 km². Seu relevo é caracterizado pelo

predomínio de chapadas e a altitude varia de 950 m a 1400 m (GDF, 2017; Miranda; Gomes; Guimarães, 2005).

O clima é caracterizado como Tropical do Brasil Central com 4 a 5 meses secos. Esse clima também é marcado por uma expressiva sazonalidade da precipitação, com um verão prolongado chuvoso, que vai de outubro a abril, e um inverno prolongado seco. Nos meses de junho e julho, a precipitação chega próximo de 0 mm (Figura 1). No inverno há também uma expressiva amplitude térmica diária, com dias mais quentes e noites frias (IBGE, 2002; Mendonça; Danni-Oliveira, 2007). A precipitação anual acumulada é de 1477 mm. A temperatura máxima média de 26,6°C e a temperatura mínima média é de 16,8°C (INMET, 2021).

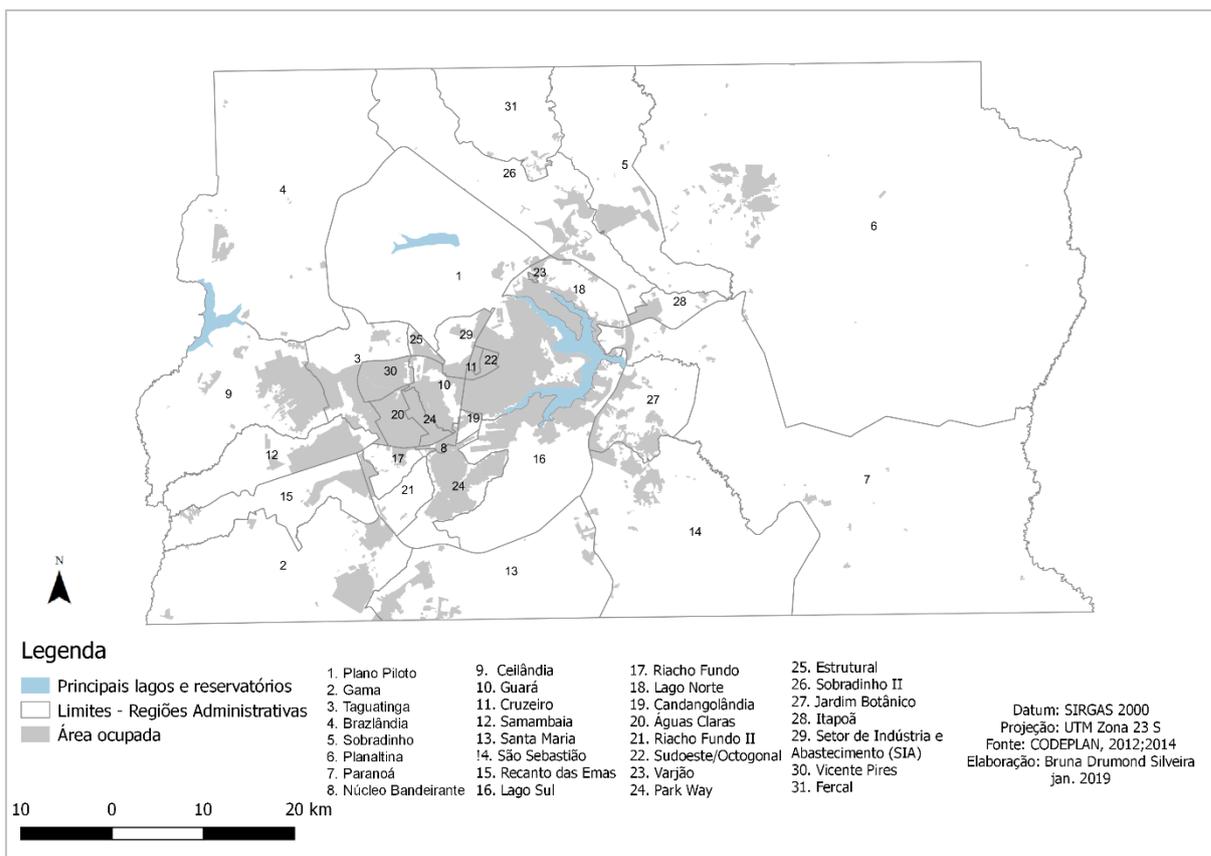
Figura 2 - Climograma de Brasília (normais climatológicas de 1981 a 2010)



Fonte: INMET, 2021. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2021.

Localizado na Região Centro-Oeste, o Distrito Federal possui um único município, Brasília. Esse território está organizado atualmente em 35 Regiões Administrativas (RAs) (GDF, 2023). No entanto, 4 delas foram criadas e delimitadas no final do nosso período de estudo: Sol Nascente/Pôr do Sol e Arniquireiras, em 2019, e Arapoanga e Água Quente, em 2022, foram desmembradas de Ceilândia, Águas Claras, Planaltina e Recanto das Emas, respectivamente. No final de 2018, houve uma alteração dos limites da RA Jardim Botânico, que passou a incluir partes das RAs São Sebastião e Santa Maria (GDF, 2023; Maniçoba, 2019). Para a preservar a série histórica dos dados, nós consideramos para análise apenas as 31 RAs que tinham sido oficialmente criadas até 2018 (Figura 2).

Figura 2 - Divisão administrativa de Brasília por Regiões Administrativas (RAs)



Legenda: Os limites das RAs estão delimitados pelos polígonos com borda cinza. Os polígonos com preenchimento cinza representam as áreas ocupadas. Em azul, são os principais reservatórios de água. As demais áreas, em branco, são áreas agrícolas ou de preservação ambiental. Elaborado por Bruna Drummond Silveira, 2019.

A população estimada em 2021 era de 3.094.325 pessoas (IBGE, 2021a) e sua densidade demográfica em 2010 era de 444,66 habitantes por km² (IBGE, 2011). No que se refere a renda, em Brasília, o salário médio mensal dos trabalhadores formais em 2019 é de 5,3 salários mínimos (IBGE, 2021d). O percentual da população com rendimento nominal mensal *per capita* de até ½ salário mínimo é 30,9% (IBGE, 2011). Brasília também possui os melhores indicadores de qualidade de vida do país, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,824 (PNUD; FJP; IPEA, 2021) e uma taxa de mortalidade infantil de 8,53 óbitos por mil nascidos vivos (BRASIL, 2019).

Quanto às condições de habitação, Brasília tem, em média 3,3 moradores por domicílio. O percentual de domicílios com esgotamento sanitário adequado é 87,9% e 95,11% têm acesso à rede geral de abastecimento de água (IBGE, 2011). O percentual de domicílios urbanos em vias públicas com arborização é de 36,9% e 5,22% população vive em aglomerados subnormais (IBGE, 2011).

DADOS

Utilizamos dados de casos de dengue provenientes do Sistema de Informações de Agravos de Notificação (SINAN). Esses dados são anonimizados, mas com informações de endereço e todas as outras informações da ficha de notificação. Consideramos para a análise os casos suspeitos e confirmados por critério laboratorial ou clínico-epidemiológico, com exceção dos descartados por diagnóstico laboratorial negativo. Também retiramos os casos classificados como importados, os de residentes de outras UFs e aqueles sem preenchimento dos campos que informam o local de residência.

Quanto à unidade temporal de análise, os dados foram agrupados por semana de primeiros sintomas. Para o posterior cálculo dos indicadores temporais da dengue, atribuímos aos casos um ano epidemiológico. Trata-se de uma adaptação em que a análise, ao invés de respeitar a delimitação do ano calendário, busca coincidir com a curva epidêmica da dengue.

Definimos o ano epidemiológico para a dengue no DF começando na segunda semana de outubro e terminando na primeira semana de outubro do ano seguinte. Dessa maneira, por exemplo, o ano epidemiológico de 2010 começa na semana epidemiológica 41 do ano calendário de 2009 e termina na semana epidemiológica 40 do ano calendário de 2010.

Definições semelhantes foram utilizadas por Lana *et al.* (2017), que definiu o ano epidemiológico para dengue nos municípios do estado do Acre como o período entre julho de um ano e junho do ano seguinte. Almeida; Lana; Codeço (2022) definiram o ano epidemiológico para a dengue em municípios de diferentes Regiões do Brasil começando na última semana de setembro de um ano e terminando na penúltima semana de setembro do ano seguinte.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa se propõe a investigar trajetórias epidemiológicas da dengue no espaço intraurbano, tendo como exemplo empírico o Distrito Federal (DF) brasileiro no período de 2010 a 2021. Para atingir esse objetivo, tivemos duas principais referências metodológicas.

A primeira trata-se de um conjunto de estudos de Geografia Urbana que analisam trajetórias de mudanças socioeconômicas de bairros em diferentes cidades a partir de análise de agrupamentos de sequências longitudinais de tipologias urbanas. Entre esses trabalhos podemos destacar os de Delmelle (2016, 2022) e o de Greenlee (2019).

A segunda é o método proposto por Almeida, Lana e Codeço (2022). Essas autoras

propuseram uma coleção de descritores epidemiológicos de séries temporais de dengue para caracterizar perfis de transmissão da dengue em municípios de seis estados brasileiros no período entre 2010 e 2019. Elas utilizaram análise de agrupamentos e obtiveram quatro perfis de transmissão: episódico, episódico-epidêmico, epidêmico e transmissão persistente.

Neste estudo, nós utilizamos os descritores epidemiológicos propostos por Almeida, Lana e Codeço (2022), que aqui chamaremos de *indicadores temporais*, para caracterizar *tipologias de transmissão* da dengue no espaço intraurbano do Distrito Federal. Para isso, nós também utilizamos análise de agrupamentos. Porém, dividimos os 12 anos do período de estudo em 3 períodos de 4 anos (2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021), criando uma *sequência de tipologias transversais*, semelhante ao proposto por Delmelle (2016) e Greenlee (2019).

Essas sequências de tipologias formam uma unidade: a *trajetória*. As trajetórias dominantes foram obtidas a partir de uma segunda análise de agrupamentos, desta vez utilizando as sequências de tipologias como observações (*input*). Ao final, conseguimos analisar as mudanças ocorridas nas dinâmicas de transmissão da dengue ao longo de todo o período nas RAs do DF. Todas as análises foram feitas com o *software R 4.3.1* (R Core Team, 2023).

Cálculo dos indicadores temporais da dengue

Para caracterizar tipologias de transmissão da dengue das RAs do DF, primeiramente construímos indicadores temporais (Tabela 1). Índices e indicadores temporais são abordagens que caracterizam séries temporais de casos de doenças de forma simples e com fácil aplicação em atividades de vigilância (Louis *et al.*, 2014). Esse tipo de estudo permite estimar o risco de dengue e outras doenças para além das taxas de incidência, permitindo identificar, por exemplo, quando uma epidemia se iniciou, quanto tempo durou e onde há persistência de casos mesmo em quantidades pequenas (Wen *et al.*, 2006).

Tabela 1. Indicadores temporais da dengue

| Indicadores | | Definição | Unidade de medida |
|-------------------------------------|------------|---|-------------------------|
| Amplitude do pico | Xp | Valor máximo de casos por semana em um ano epidemiológico. | Casos |
| Tempo do pico | Tp | Semana epidemiológica na qual a série atinge o valor de Xp. | Semana epidemiológica |
| Duração do período com casos | Dc3 | Frequência de pelo menos três semanas consecutivas com cinco ou mais casos de | Adimensional (contagem) |

| | | | |
|--|--------------|--|---|
| | | dengue durante um ano epidemiológico. | |
| | Dc6 | Frequência de pelo menos seis semanas consecutivas com cinco ou mais casos de dengue durante um ano epidemiológico. | Adimensional (contagem) |
| | Dcmax | Número máximo de semanas consecutivas dentro um ano epidemiológico com cinco ou mais casos de dengue. | Semana epidemiológica com cinco ou mais casos de dengue |
| | Dcmed | Duração mediana do período de semanas consecutivas com cinco ou mais casos de dengue em um ano epidemiológico. | Semana epidemiológica com cinco ou mais casos de dengue |
| | Dci | Frequência de semanas isoladas com cinco ou mais casos de dengue durante um ano epidemiológico. | Semana epidemiológica isolada com cinco ou mais casos de dengue |
| Duração do período sem casos | Ds3 | Frequência de pelo menos três semanas consecutivas sem casos de dengue durante um ano epidemiológico. | Adimensional (contagem) |
| | Ds6 | Frequência de pelo menos seis semanas consecutivas sem casos de dengue durante um ano epidemiológico. | Adimensional (contagem) |
| | Dsmax | Número máximo de semanas consecutivas dentro um ano epidemiológico sem casos de dengue. | Semana epidemiológica sem casos de dengue |
| | Dsmed | Duração mediana do período de semanas consecutivas sem casos de dengue em um ano epidemiológico. | Semana epidemiológica sem casos de dengue |
| Frequência de semanas positivas | P+ | Frequência de semanas epidemiológicas com cinco ou mais casos de dengue por ano epidemiológico. | Semana epidemiológica com cinco ou mais casos de dengue |
| Razão de tendência/sazonalidade | ST | Razão entre a amplitude do componente de tendência e a amplitude do componente de sazonalidade obtida a partir da decomposição multiplicativa da série temporal. | Adimensional |

Fonte: Adaptado de Almeida, Lana e Codeço (2022).

Utilizamos os 13 indicadores temporais propostos por Almeida; Lana; Codeço (2022). Calculamos esses indicadores para cada uma das 31 RAs e cada um dos 12 anos epidemiológicos, totalizando 372 observações.

Análise exploratória dos indicadores temporais da dengue

Após calcularmos os indicadores, realizamos uma análise exploratória. Esta etapa envolveu o cálculo de medidas descritivas, a elaboração de histogramas e a realização do teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade da distribuição. Em seguida, padronizamos os indicadores utilizando a técnica *Z-score* (média zero e desvio padrão igual a 1) para que todos passassem a ter a mesma escala e pudessem ser comparados.

Posteriormente, utilizamos a Matriz de Correlação de Pearson, elaborada com auxílio do pacote *corrplot* (Wei *et al.*, 2021), para verificar a multicolinearidade entre os indicadores padronizados. Os indicadores que apresentaram coeficiente de correlação (r) maior ou igual a 0,80 foram analisados e 3 deles foram retirados das análises subsequentes. Assim, ficamos com 10 indicadores temporais. Os mesmos procedimentos foram adotados e os mesmos resultados foram obtidos por Almeida, Lana e Codeço (2022).

Caracterização das tipologias de transmissão

Neste momento da análise, nós tínhamos então 10 indicadores para cada um dos 12 anos do período de estudo e cada uma das 31 RAs, totalizando 372 observações (12 observações para cada RA). O próximo passo foi obter as médias de cada um dos 10 indicadores (não padronizados) para cada um dos três períodos de quatro anos cada (2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021). Assim, passamos a ter 93 observações, 3 para cada RA.

Todas as médias dos indicadores temporais (variáveis) foram padronizadas utilizando a técnica *Z-score* separadamente para cada período para que, além de deixá-las em escalas comparáveis, como foi feito na análise anterior, fosse possível comparar mudanças ao longo do tempo. Assim, todas as variáveis representam, portanto, um valor relativo comparado a todos os outros valores na cidade naquele período específico. Técnica semelhante foi utilizada nos trabalhos de Delmelle (2016) e Greenlee (2019).

Essas variáveis foram utilizadas como *input* para realizarmos a análise de agrupamentos. A análise de agrupamentos ou análise de cluster é uma técnica de análise

multivariada cujo principal objetivo é agrupar objetos ou observações com base nas suas características (variáveis). Assim, os grupos resultantes devem apresentar uma alta homogeneidade interna e uma alta heterogeneidade entre si (Hair *et al.*, 2019).

A análise de agrupamentos envolve uma série de passos e tomadas de decisões em cada um deles, como a escolha da medida de (dis)similaridade, o algoritmo de agrupamento e o número de grupos. Essas escolhas envolvem muitas experimentações, um suporte teórico e testes de validação (Hair *et al.*, 2019; Kaufman; Rousseeuw, 2005).

Para classificar as observações em grupos precisamos estabelecer medidas de (dis)similaridade entre cada par de observações. Nessa pesquisa, utilizamos a distância Euclidiana para construir a matriz de dissimilaridade, uma das medidas mais reconhecidas e utilizadas na literatura. Nesta técnica, a distância entre dois pontos em duas dimensões é dada por uma linha reta, a hipotenusa de um triângulo retângulo (Hair *et al.*, 2019; Kassambara, 2017).

Existe uma grande diversidade de algoritmos de agrupamentos na literatura. A maioria deles pode ser classificada em métodos de particionamento ou métodos hierárquicos (Kaufman; Rousseeuw, 2005). Utilizamos o método hierárquico apenas num primeiro momento, como uma análise exploratória para identificar *outliers* a partir de um dendrograma.

Assim como no trabalho de Almeida, Lana e Codeço (2022), optamos por utilizar o algoritmo *Partitioning Around Medoids* (PAM) ou *k-medoid*. Os métodos de particionamento dividem os dados em k grupos. O PAM busca identificar k observações representativas entre os dados, chamadas de medoides, que representam o ponto central de cada grupo. O termo "medoide" refere-se a uma observação dentro de um grupo para a qual a dissimilaridade média entre ela e todos os outros membros do grupo é mínima (Kassambara, 2017; Kaufman; Rousseeuw, 2005).

Após identificar esse conjunto de k medoides, os k grupos são formados e cada observação é atribuída ao medoide mais próximo. O método *k-medoid* é uma alternativa robusta ao *k-means*, amplamente conhecido e utilizado na literatura. No *k-means*, o centro de cada grupo é determinado pela média de todas as observações do grupo, tornando-o mais sensível a *outliers* (Kassambara, 2017; Kaufman; Rousseeuw, 2005).

Nós aplicamos o algoritmo em soluções de 3 a 6 grupos. O número ideal de grupos e a qualidade dos agrupamentos foi avaliada a partir do método silhueta (Kassambara, 2017; Kaufman; Rousseeuw, 2005). A largura da silhueta pode ser interpretada da seguinte forma: valores próximos de 1 indicam que a observação está bem agrupada, enquanto valores próximos a -1 indicam que a observação poderia estar em outro grupo; valores próximos de 0 indicam

que a observação está entre dois grupos (Kassambara, 2017).

Após selecionar o número de grupos mais adequado, nós aplicamos o teste de Kruskal-Wallis para determinar diferenças significativas entre os grupos e o teste de post-hoc de Dunn para verificar as diferenças específicas entre os grupos. Este último teste foi realizado com valor ajustado de p utilizando o método de Bonferroni (Agresti; Finlay, 2009).

Calculamos então medidas descritivas e elaboramos gráficos *box-plot* para ajudar na interpretação dos grupos. Por fim, elaboramos três mapas com a distribuição dos grupos em cada período. Para realizar a análise de agrupamentos, utilizamos os pacotes *cluster* (Maechler *et al.*, 2022) e *factoextra* (Kassambara; Mundt, 2020).

Caracterização das trajetórias epidemiológicas

Para caracterizar as trajetórias das RAs (tempo no espaço), precisamos, primeiramente, analisar a similaridade entre as sequências de tipologias obtidas na primeira análise. Para isso, utilizamos o método *optimal matching* (OM) de análise de sequências de dados categóricos.

Esse algoritmo foi criado inicialmente para analisar sequências de DNA, mas passou a ser usado nas Ciências Sociais para análise de trajetórias de vida e carreiras profissionais (Abbott; Tsay, 2000) e na Geografia Urbana para análise de mudanças socioeconômicas em bairros de grandes cidades (Delmelle, 2016; Greenlee, 2019).

Esse algoritmo calcula o custo associado à inserção, exclusão ou substituição de elementos em uma sequência para convertê-la em outra. Quanto mais operações são exigidas para igualar as duas sequências, maior será o custo ou a diferença entre elas (Delmelle, 2016; Gabadinho *et al.*, 2011).

Para medir a (dis)similaridade entre as sequências, construímos uma matriz de custo de substituição, que é estimada com base nas taxas de transição entre os estados (tipologias de transmissão). A taxa de transição entre dois estados (S_i, S_j) é a probabilidade de mudar em uma dada posição de um estado S_i , para um estado S_j . Ela é dada pela seguinte fórmula:

$$p(S_j | S_i) = \frac{\sum_{t=1}^{L-1} n_{t, t+1}(S_i, S_j)}{\sum_{t=1}^{L-1} n_t(S_i)}$$

onde $n_t(S_i)$ é o número de sequências que não termina em t com o estado S_i em uma posição t e $n_{t, t+1}(S_i, S_j)$ é o número de sequências com estado S_i em uma posição t e um estado S_j na

posição $t + 1$. L é o comprimento máximo observado no conjunto de sequências.

Basicamente, as taxas de transição, que são assumidas como consistentes ao longo do tempo, resultam em uma matriz onde cada linha mostra quão provável é passar de um estado atual para outros estados no próximo momento. Cada linha soma um, indicando todas as possibilidades de transição a partir de um estado. Na diagonal, vemos as probabilidades de permanência em um mesmo estado (Gabadinho *et al.*, 2011).

A partir das taxas de transição, podemos calcular o custo de substituição da seguinte forma:

$$2 - p(S_i | S_j) - p(S_j | S_i)$$

onde $p(S_i | S_j)$ é a probabilidade de se observar o estado S_i no tempo $t + 1$ dado que o estado S_j tenha sido observado no tempo t . A intenção é atribuir um custo alto quando a transição entre S_i e S_j são raras e um custo baixo quando elas são frequentes. O custo mínimo é 0, quando a substituição de uma tipologia é feita por ela mesma, e o máximo é 2, o valor que seria obtido por uma transição não observada nos dados (Gabadinho *et al.*, 2011).

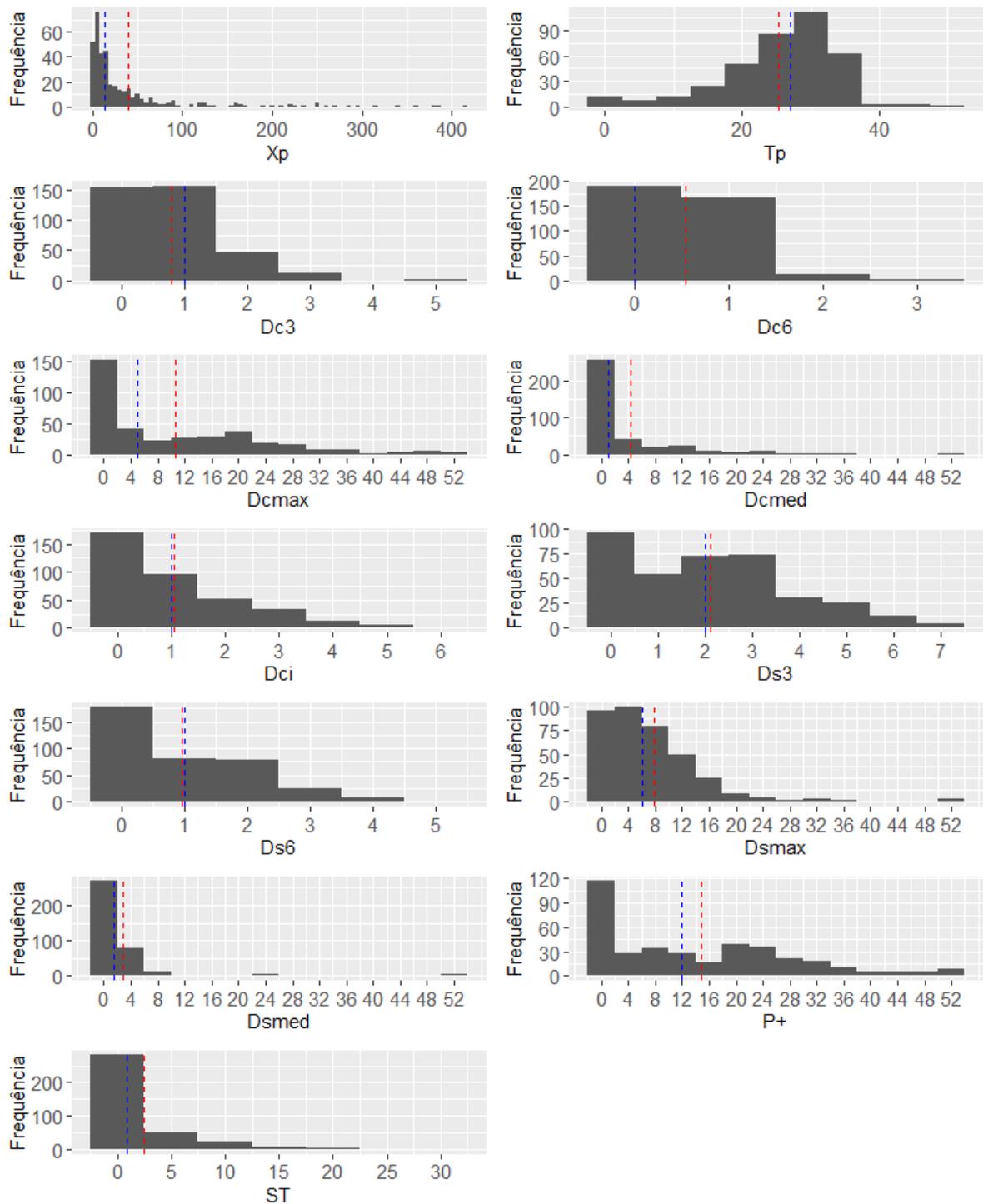
Os custos de substituição são organizados na forma de uma matriz de dimensão $a \times a$, onde a é o número de estados. O elemento (i, j) na matriz corresponde ao custo de substituir o estado S_i pelo estado S_j (Gabadinho *et al.*, 2011). Por fim, os valores do custo de substituição são utilizados como medida de dissimilaridade para agrupar as sequências em grupos semelhantes, utilizando análise de cluster mais uma vez. A análise de sequências foi feita com auxílio do pacote *TraMineR* (Gabadinho *et al.*, 2011). Essa pesquisa foi aprovada pelo CEP/ENSP/FIOCRUZ (CAAE: 59975022.4.0000.5240).

RESULTADOS

INDICADORES TEMPORAIS DA DENGUE

Calculamos 13 indicadores temporais para as 31 RAs e os 12 anos epidemiológicos do período de estudo, totalizando 372 observações. As distribuições das frequências dos indicadores são, em geral, assimétricas à direita, exceto a do indicador T_p , em que a maioria das observações está próxima dos valores centrais (Figura 3). Testes de Shapiro-Wilk confirmaram que as distribuições não são normais ($p < 0,05$).

Figura 3. Histogramas de frequências de valores observados dos indicadores temporais (n = 372)



Legenda: Cada histograma corresponde à distribuição de frequências de um indicador. As linhas tracejadas em vermelho representam as médias e as de cor azul, as medianas dos valores. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Como os indicadores possuem escalas diferentes, aplicamos a padronização *Z-score* para torná-los comparáveis, transformando-os em uma escala comum com média zero e desvio padrão um. Essa padronização nos permitiu verificar se existia multicolinearidade entre esses

indicadores ao examinar a matriz de correlação. As variáveis com alta correlação ($>0,8$) entre si foram Dsméd e Dsmáx, P e Dcmáx e Dc6 e P, resultado similar ao encontrado por Almeida, Lana e Codeço (2022).

Assim como estas autoras, optamos por manter Dsmáx e Dcmáx porque eles refletem o período máximo sem e com casos, respectivamente, e excluímos, portanto, as variáveis Dsméd e P. Consequentemente, também mantivemos o indicador Dc6. Também como o trabalho mencionado, excluímos o indicador Dcméd, apesar de não apresentar alta correlação com outras variáveis, por ser complementar ao indicador Dsméd. As análises seguintes foram feitas utilizando os 10 indicadores restantes.

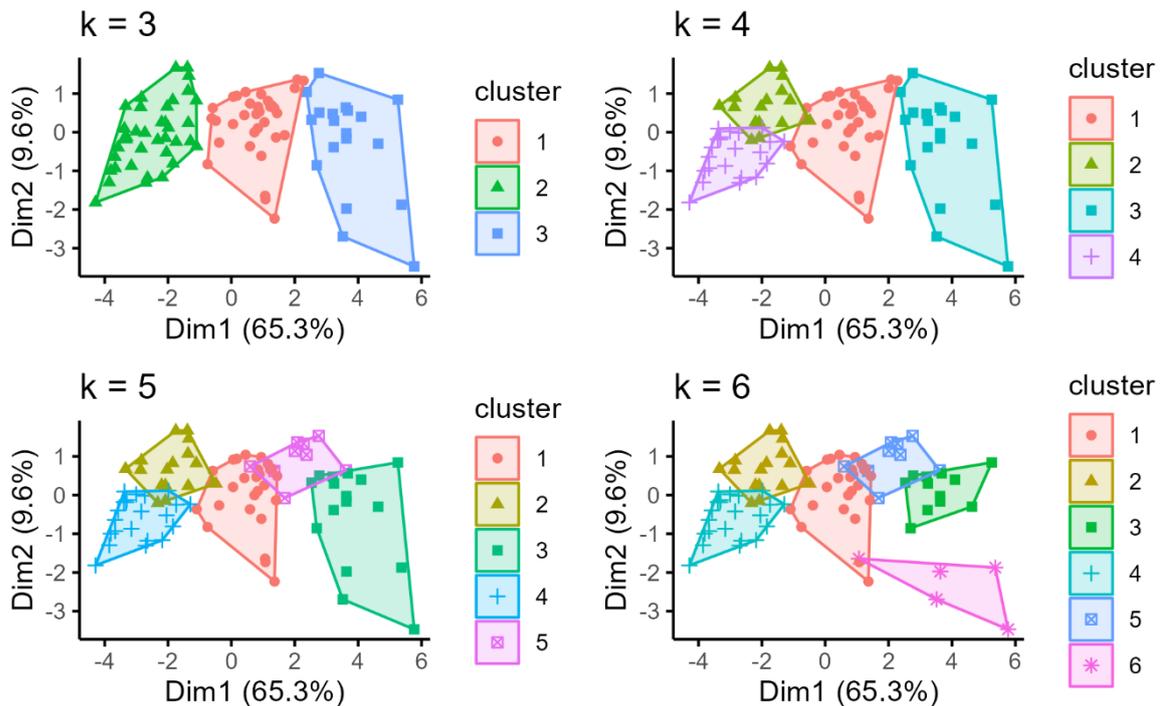
TIPOLOGIAS DE TRANSMISSÃO DA DENGUE

Depois de realizada a etapa inicial da análise exploratória, calculamos as médias dos 10 indicadores por período e RA (variáveis). Esse processo resultou em um conjunto de dados com 93 observações. Com essas variáveis calculadas, construímos uma matriz de dissimilaridade utilizando a distância Euclidiana.

O próximo passo consistiu em construir um dendrograma com o propósito de identificar possíveis *outliers* (Figura 4). Essa análise mostrou que as observações referentes a Região Administrativa (RA) Setor de Indústria e Abastecimento (SIA) nos três períodos podem ser consideradas discrepantes.

Figura 4. Dendrograma das Regiões Administrativas (RAs) considerando os três períodos

Figura 5. Visualização dos agrupamentos com soluções igual a k=3, 4, 5 e 6.

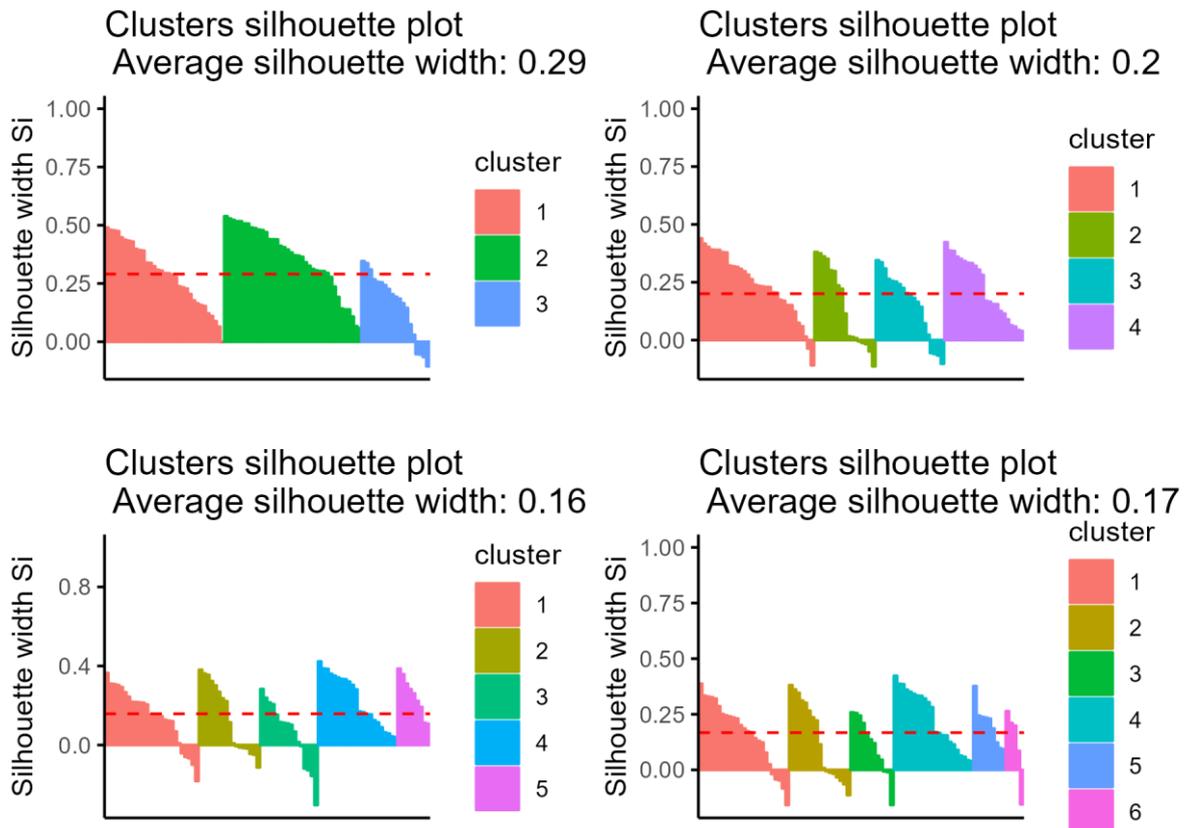


Legenda: Os gráficos apresentam soluções para 3, 4, 5 e 6 grupos. Essa visualização foi obtida utilizando a função *fviz_cluster* do pacote *factoextra* (Kassambara; Mundt, 2020). As observações são representadas como pontos. Quando o número de variáveis é maior que 2, a função utiliza PCA para projetar as observações em um espaço bidimensional. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Essas duas dimensões dos gráficos correspondem às duas primeiras coordenadas dos componentes principais, que explicam 74,9% da variação dos dados. A solução com $k = 3$ apresenta grupos bem separados, especialmente os grupos 1 e 2. O grupo 3 apresenta uma distribuição mais dispersa, com uma observação bem próxima do grupo 1. As soluções com k maior ou igual a 4 apresentam grupos que se sobrepõem.

Para avaliar o número ideal de grupos e a qualidade dos agrupamentos, utilizamos o método silhueta (Figura 6). A solução com 3 grupos apresenta uma largura média de silhueta (S_i) igual a 0,29, indicando uma estrutura de agrupamento razoável. Os grupos 1 e 2 possuem todas as observações bem posicionadas. Apenas o grupo 3 apresenta observações que poderiam ser agregadas ao grupo vizinho.

Figura 6. Largura média de silhueta para soluções de agrupamentos com $k = 3, 4, 5$ e 6.



Legenda: Valores próximos de 1 indicam que a observação está bem agrupada, enquanto valores próximos a -1 indicam que a observação poderia estar em outro grupo; valores próximos de 0 indicam que a observação está entre dois grupos (Kassambara, 2017; Kaufman; Rousseeuw, 2005). Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

As demais soluções apresentam valores de S_i menores e uma maior quantidade de grupos que apresentam observações mal posicionadas. Por essas razões, a solução com $k = 3$ parece ser a melhor escolha. Além disso, uma solução com um menor número de grupos torna a interpretação mais fácil e clara.

Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis determinaram diferenças significativas entre os 3 grupos em relação a todas as variáveis ($p < 0,05$). Para identificar quais grupos diferem entre si, aplicamos o teste post-hoc de Dunn com p-valor ajustado pelo método Bonferroni.

Com a correção de Bonferroni, que é um método mais conservador, não há diferenças significativas entre os grupos 1 e 3, além das variáveis T_p e D_{ci} , também em relação ao tamanho médio do pico (X_p), à duração média de três semanas consecutivas com cinco ou mais casos (D_{c3}) e média da razão tendência/sazonalidade (ST). Assim, a principal diferença entre os grupos 1 e 3 diz respeito às variáveis de duração longa de períodos com casos (D_{c6} e D_{max}) e à duração de períodos sem casos (D_{s3} , D_{s6} e D_{smax}).

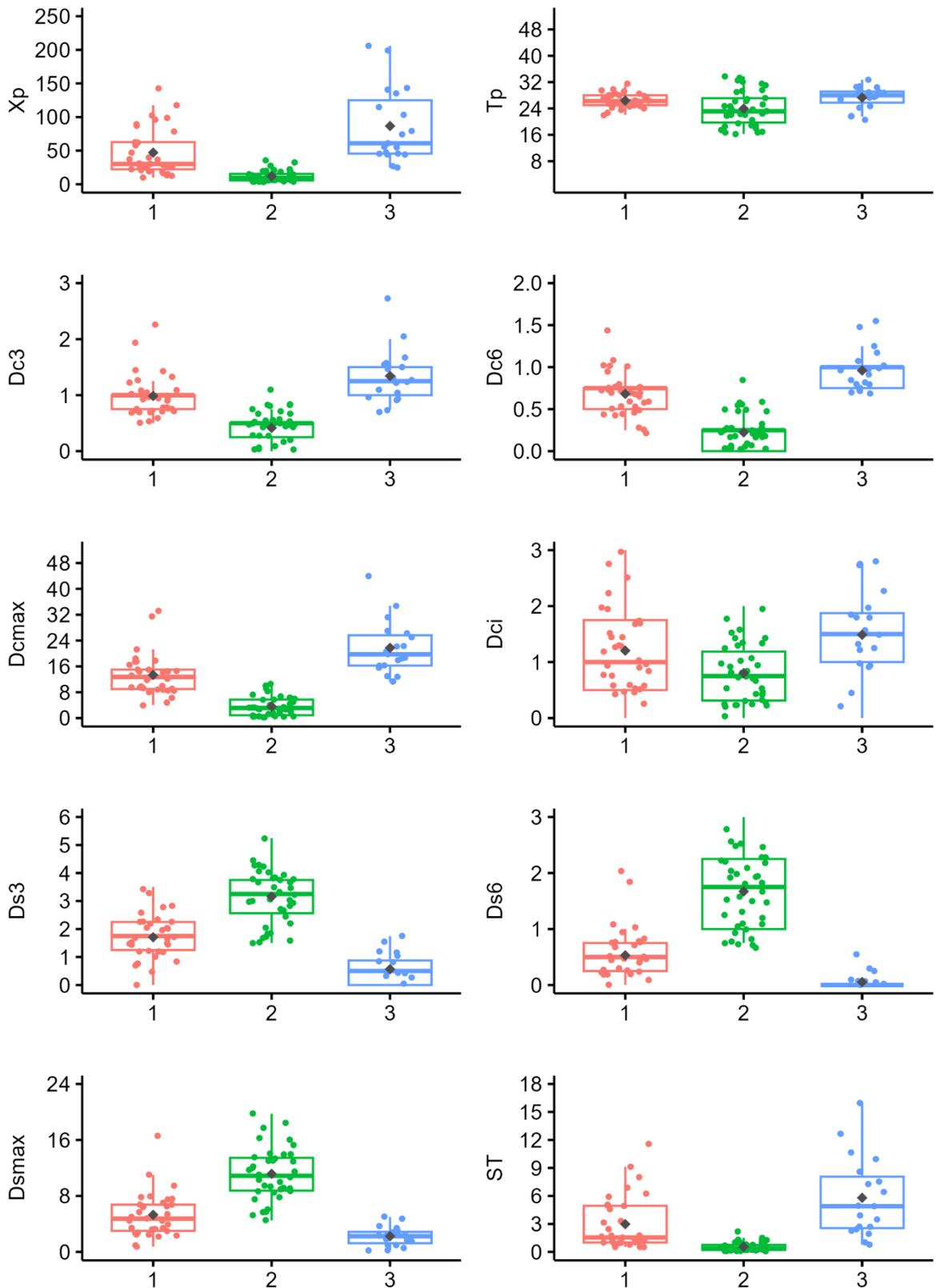
Já o grupo 2, conforme os valores de p-valor ajustado, não apresenta diferenças

significativas somente de T_p e D_{ci} em relação ao grupo 1. Apresenta, no entanto, diferenças significativas em todas as outras comparações.

Os gráficos *box-plots* (Figura 7) mostram as diferenças nas distribuições de cada variável por grupo, bem como suas medidas descritivas. O grupo 1 ($n = 33$) é caracterizado por valores moderados de todos os indicadores quando comparado aos outros grupos. Para esse grupo, a variável X_p apresenta, em média, uma variação entre 10 a 142,75 casos, com uma média de um máximo de cerca de 47 casos em uma única semana. O tempo do pico de casos (T_p) varia, em média, da semana 22 (março) a 31,5 (maio), ocorrendo em média na semana 26 do ano epidemiológico, aproximadamente, o que corresponde a semana 13 do ano calendário (mês de abril). Apresenta, em média, um máximo de cerca de 13 semanas de transmissão contínua (D_{cmax}). As RAs que fazem parte desse grupo possuem um período de transmissão máximo que varia consideravelmente, em média, de 4 a 33 semanas. A razão de tendência/sazonalidade (ST) varia de 0,49 a 12,03, com média de 3,1, indicando uma sazonalidade menor comparada ao grupo 2 e maior comparada ao grupo 3. Devido a essas características, esse grupo pode ser caracterizado por uma **tipologia de transmissão epidêmica**.

O grupo 2 ($n = 38$) é caracterizado por baixos valores de pico (X_p) e de períodos com transmissão. O tempo do pico de casos (T_p) apresentou uma distribuição dispersa, variando em média da semana 16 (janeiro) à semana 33 (junho), e ocorrendo em média, na semana 24 (março). O período máximo de semanas consecutivas com transmissão (D_{cmax}) é de 10,5 semanas e a média é de 3,61 semanas. Conseqüentemente, possui altos valores de indicadores de períodos sem transmissão e o mais baixo valor médio do indicador ST, 0,572, indicando uma alta sazonalidade da dengue em RAs com esse perfil. Podemos caracterizar esse grupo como tendo uma **tipologia de transmissão episódica**.

Figura 7. Distribuição das variáveis por grupo



Legenda: Distribuições e medidas descritivas das variáveis por grupo. Cada ponto é uma observação. Os losangos na cor cinza correspondem às médias. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

O grupo 3 ($n = 19$) possui altos valores de pico (X_p), com uma variação média entre 24,75 e 206 casos em uma única semana, com uma média de um máximo de 86,63 casos em uma única semana. O tempo do pico de casos (T_p) varia em média da semana 20 (fevereiro) à semana 32 (maio), ocorrendo em média na semana 27 (abril). Também possui altos valores de dos indicadores de duração de períodos com transmissão. Ele se destaca pelos longos períodos de transmissão contínua, com uma média de um máximo de 21,75 semanas (D_{cmax}) e alcançando até 44 semanas, em média, em algumas RAs. Por outro lado, apresenta períodos curtos ou até mesmo nenhum período sem casos, apresentando um período máximo de 5 semanas sem registros de casos (D_{smax}). Possui os mais altos valores do indicador ST, indicando uma baixa sazonalidade e uma maior influência do componente de tendência nas séries com esse perfil. As áreas pertencentes ao grupo 3 podem ser caracterizadas como tendo uma **tipologia de transmissão persistente** ou endêmica.

A partir desse momento, nós reintroduzimos manualmente a RA SIA, que havia sido caracterizada como *outlier*, na análise. Por proximidade, ela foi agregada ao grupo de tipologia de transmissão episódica, que passa a ter, então, 41 observações. As médias das variáveis dessa RA são: $X_p = 1,33$, $T_p = 18$, $D_{c3} = 0$, $D_{c6} = 0$, $D_{cmax} = 0$, $D_{ci} = 0$, $D_{s3} = 3,08$, $D_{s6} = 2,16$, $D_{smax} = 28,16$ e $ST = 0,013$.

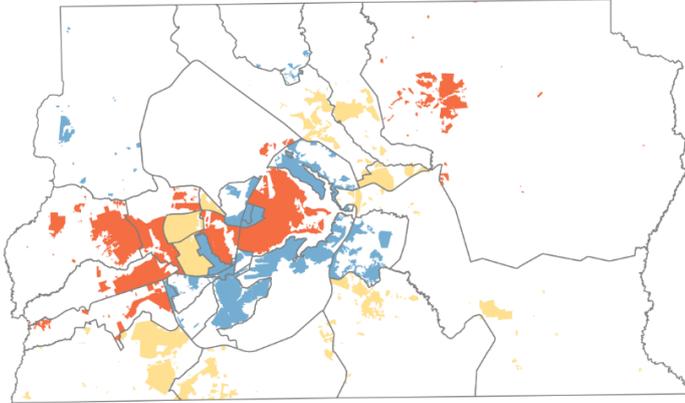
Os mapas abaixo mostram as distribuições das tipologias de transmissão nos três períodos: 2010 a 2013 (período 1), 2014 a 2017 (período 2) e 2018 a 2021 (período 3) (Figura 8). No período 1, 14 RAs (45,2%) apresentaram tipologia de transmissão episódica, 10 (32,3%) apresentaram tipologia de transmissão epidêmica e 7 (22,6%), tipologia de transmissão persistente.

Nesse período, as RAs classificadas com transmissão episódica estão localizadas principalmente em áreas mais próximas e ao redor do Plano Piloto: Candangolândia, Cruzeiro, Jardim Botânico, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Park Way, Riacho Fundo I, Riacho Fundo II, Setor de Industria e Abastecimento, Sudoeste/Octogonal e Varjão. Também em RAs mais distantes, ao norte, a Fercal, e a noroeste, Brazlândia.

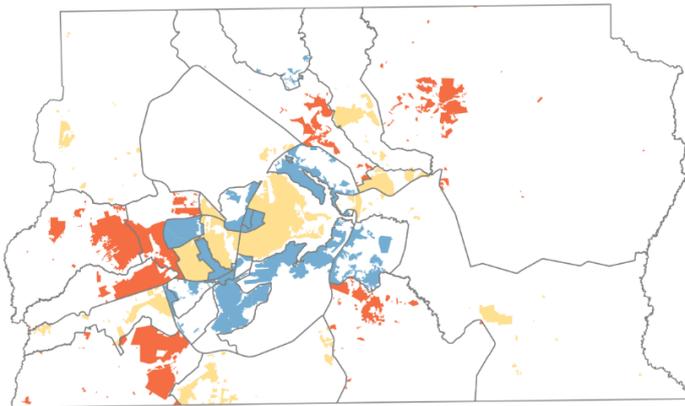
As RAs com tipologia de transmissão epidêmica no primeiro período estão mais dispersas pelo território. São elas: Águas Claras, Estrutural, Gama, Itapoã, Paranoá, Santa Maria, São Sebastiao, Sobradinho, Sobradinho II e Vicente Pires. As Regiões com transmissão persistente estão localizadas nas áreas mais centrais, Plano Piloto e Guará, a oeste, Ceilândia, Recanto das Emas, Samambaia e Taguatinga, e a nordeste, Planaltina.

Figura 8. Tipologias de transmissão da dengue no DF em três períodos: 2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021.

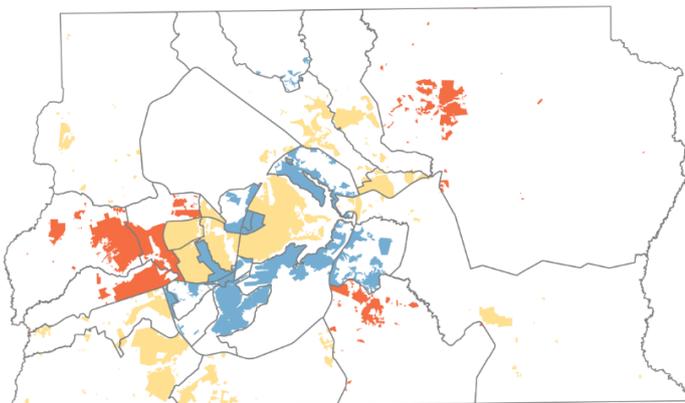
2010-2013



2014-2017



2018-2021



Tipologias de transmissão



Fonte: CODEPLAN, 2014; SEDUH-DF, 2019, SES-DF, 2022. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

No segundo período, as frequências e proporções de RAs em cada tipologia continuaram

as mesmas do primeiro período. No entanto, houve mudanças nas composições de cada grupo. Candangolândia, Cruzeiro, Jardim Botânico, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Park Way, Riacho Fundo I, Riacho Fundo II, Setor de Indústria e Abastecimento, Sudoeste/Octogonal e Varjão, próximas ao Plano Piloto, continuaram apresentando tipologia de transmissão episódica. O mesmo ocorreu com a Fercal, mais distante, ao norte. Brazlândia, por outro lado, nesse período, passou a apresentar uma tipologia de transmissão epidêmica. E Vicente Pires, a centro-oeste no mapa, que no período anterior apresentava tipologia de transmissão epidêmica, passou a apresentar uma tipologia de transmissão episódica.

Águas Claras, Estrutural, Itapoã, Paranoá, Santa Maria e Sobradinho, que apresentaram tipologia de transmissão epidêmica no primeiro período, continuaram a apresentar a mesma tipologia no segundo período. Guará, Plano Piloto e Recanto das Emas, que apresentaram tipologia de transmissão persistente no primeiro período, passaram a integrar esse grupo de RAs que apresentaram tipologia de transmissão epidêmica nesse segundo período.

Ceilândia, Samambaia e Taguatinga, a oeste e Planaltina, a nordeste mantiveram a tipologia de transmissão persistente também nesse período. Gama, a sudoeste, São Sebastião, a sudeste, e Sobradinho II, ao norte, que antes apresentaram tipologia de transmissão epidêmica, neste segundo período passam a apresentar tipologia de transmissão persistente.

No terceiro período, entre 2018 e 2021, houve um aumento na frequência e na proporção de RAs com tipologia e transmissão epidêmica, com um total de 13 (41,9%) RAs. Consequentemente, houve uma pequena diminuição no número de RAs que apresentaram tipologia de transmissão episódica, que também passou a ser 13 (41,9%). O grupo de RAs com transmissão persistente, que antes eram 7, passou a ter 5 (16,1%) integrantes.

Candangolândia, Cruzeiro, Jardim Botânico, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Park Way, Riacho Fundo I, Riacho Fundo II, Setor de Indústria e Abastecimento, Sudoeste/Octogonal, Varjão e Fercal constituíram o grupo de RAs com tipologias de transmissão episódica neste terceiro período. Essas RAs mantiveram essa tipologia de transmissão desde o primeiro período.

Águas Claras, Estrutural, Itapoã, Paranoá, Santa Maria e Sobradinho mantiveram a tipologia de transmissão epidêmica nos três períodos. Guará, Plano Piloto e Recanto das Emas, que apresentaram transmissão epidêmica no segundo período, permaneceram com esse tipo de transmissão no terceiro período. Vicente Pires, que havia apresentado transmissão epidêmica no primeiro período e passou a apresentar transmissão episódica no segundo período, voltou a apresentar tipologia de transmissão epidêmica no terceiro período. Sobradinho II apresentou tipologia de transmissão epidêmica no primeiro período, passou a apresentar transmissão

persistente no segundo e voltou a apresentar transmissão epidêmica no terceiro.

Neste terceiro período, Ceilândia, Planaltina, Samambaia, Taguatinga e São Sebastião apresentaram tipologia de transmissão persistente. As quatro primeiras mantiveram essa tipologia desde o primeiro período. A última, desde o segundo período.

Depois de caracterizar e atribuir tipologias de transmissão para cada uma das RAs em cada período, construímos uma sequência longitudinal de tipologias para cada uma delas. Em síntese, obtivemos 8 sequências de tipologias distintas.

TRAJETÓRIAS EPIDEMIOLÓGICAS DA DENGUE

A análise de agrupamentos das sequências nos possibilitou caracterizar as trajetórias epidemiológicas predominantes no DF. Nos gráficos abaixo (Figura 9), observamos que os grupos 1, 2 e 3 são compostos por RAs com sequências mais estáveis com quase nenhuma mudança, como nos grupos 1 e 3, ou mesmo nenhuma mudança, como no grupo 2.

Figura 9. Grupos de sequências de tipologias



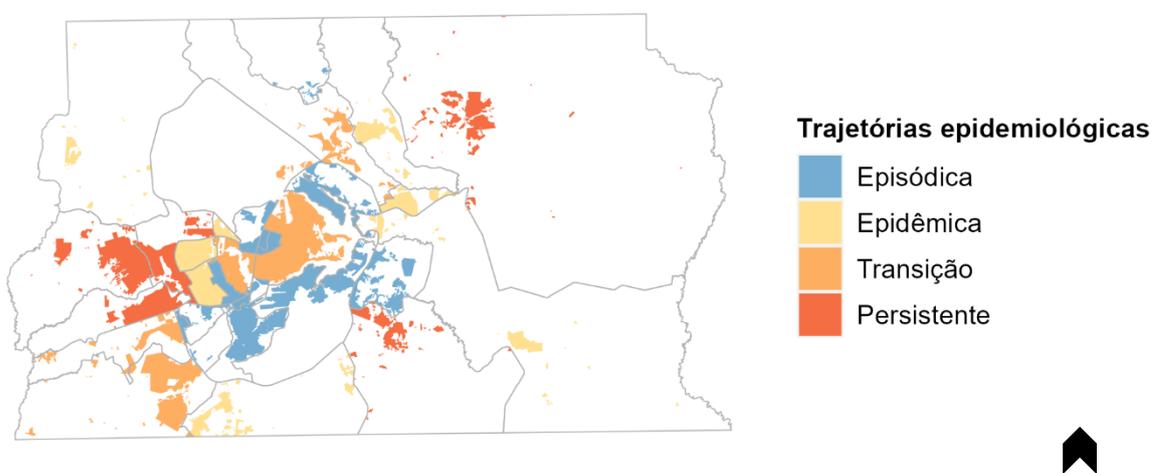
Legenda: Cada gráfico apresenta frequências relativas de sequências e ilustram as sequências atribuídas a cada grupo. Cada cor representa uma das tipologias obtidas anteriormente e a evolução dos períodos é representada ao longo do eixo x. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Dessa forma, retratamos os grupos de sequências 1, 2 e 3 como trajetórias de permanência, que levam os mesmos nomes das tipologias que as compõem. Já no grupo 4

vemos um padrão de transição entre tipologias, com RAs que, no primeiro período apresentavam tipologia de transmissão persistente, em sua maioria, e ao longo dos períodos passaram a apresentar tipologia de transmissão epidêmica.

As 8 RAs pertencentes ao grupo 1, caracterizadas por uma trajetória epidemiológica de transmissão epidêmica, constituem 25,8% das RAs do DF. Elas estão distribuídas de forma dispersa pelo território: ao norte, Sobradinho, a leste, Paranoá e Itapoã, a noroeste, Brazlândia, a centro-oeste, Estrutural, Águas Claras e Vicente Pires e, ao sul, Santa Maria (Figura 10).

Figura 10. Distribuição espacial das trajetórias epidemiológicas



Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

As RAs contidas no grupo 2, com trajetórias epidemiológicas de transmissão episódica, estão localizadas principalmente em áreas próximas que circundam o Plano Piloto. Todas as 13 RAs desse grupo mantiveram exclusivamente a tipologia de transmissão episódica ao longo dos três períodos. Elas constituem 41,9% do total de RAs do DF.

As 5 RAs (16,1%) no grupo 3, trajetória epidemiológica de transmissão persistente, permaneceram, em grande parte, com tipologia de transmissão persistente durante os três períodos. Elas estão concentradas a oeste, como Ceilândia, Taguatinga e Samambaia, mas também estão localizadas a nordeste, Planaltina, e a sudeste, São Sebastião.

Outras 5 RAs (16,1%), que estão contidas no grupo 4, trajetória epidemiológica de transição entre tipologia de transmissão persistente e tipologia de transmissão epidêmica, apresentam uma distribuição dispersa. Elas estão localizadas em áreas centrais, como Plano Piloto e Guará, ao norte, em Sobradinho II e a sudoeste, nas RAs Gama e Recanto das Emas.

As 10 RAs (32,2%) que apresentaram trajetórias epidemiológicas de transmissão persistente e de transição entre tipologias persistente e epidêmica registraram juntas 66,71% dos casos acumulados de 2010 a 2021. A tabela 2 abaixo mostra o acumulado de casos durante todo o período de estudo e o número de RAs em cada trajetória.

Tabela 2. Distribuição dos casos acumulados por trajetória epidemiológica

| Trajetoórias | Casos acumulados 2010-2021 | % | Número de RAs | % |
|--------------|----------------------------|--------|---------------|-------|
| Episódica | 14.921 | 8,76% | 13 | 41,9% |
| Epidêmica | 41.791 | 24,53% | 8 | 25,8% |
| Transição | 38.696 | 22,71% | 5 | 16,1% |
| Persistente | 74.957 | 44,00% | 5 | 16,1% |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

Se considerarmos o total populacional de cada trajetória, vemos que os valores no início e no final do período são proporcionais aos números de casos, com a trajetória persistente apresentando o maior valor e a episódica o menor valor. O incremento populacional no período foi menor na trajetória de transição (Tabela 3).

Tabela 3 - Total populacional por trajetória

| Trajetoórias | População 2010 | % | População 2020 | % | Incremento | % |
|--------------|----------------|---------|----------------|---------|------------|---------|
| Episódica | 341.825 | 12,95% | 433.465 | 14,20% | 91.640 | 22,17% |
| Epidêmica | 556.010 | 21,07% | 684.758 | 22,43% | 128.748 | 31,15% |
| Transição | 666.835 | 25,27% | 725.288 | 23,76% | 58.453 | 14,14% |
| Persistente | 1.074.542 | 40,71% | 1.209.035 | 39,61% | 134.493 | 32,54% |
| Total | 2.639.212 | 100,00% | 3.052.546 | 100,00% | 413.334 | 100,00% |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

A tabela 4 a seguir mostram as medidas descritivas de população para o ano de 2015. Os valores mínimos, máximos e medianos acompanham o gradiente das trajetórias. A trajetória persistente apresenta uma maior variação dos dados, com intervalo interquartil (IQR) de 35.523 habitantes, enquanto a trajetória de transição apresenta a menor variação (IQR = 15.855 habitantes).

Tabela 4 - Medidas descritivas da população para o ano de 2015

| Trajetoórias | Mínimo | Máximo | Mediana | Q1 | Q3 | IQR |
|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Episódica | 2.574 | 56.353 | 30.034,0 | 16.874,0 | 41.332,0 | 24.458,0 |
| Epidêmica | 34.649 | 148.548 | 66.538,5 | 56924,8 | 85.750,5 | 28.825,8 |

| | | | | | | |
|-------------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Transição | 80.701 | 219.202 | 130.982,0 | 126.008,0 | 141.863,0 | 15.855,0 |
| Persistente | 95.256 | 431.472 | 203.936,0 | 186.090,0 | 221.613,0 | 35.523,0 |

Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

A tabela 5 mostra as diferenças na incidência média ao longo do período de 2010 a 2021 para as quatro trajetórias. O valor mínimo acompanha o gradiente das trajetórias. No entanto, os valores máximos são encontrados nas trajetórias epidêmica e episódica. As maiores medianas foram encontradas na trajetória epidêmica, seguida da trajetória de transição. A trajetória episódica apresentou a menor mediana. As maiores variações foram encontradas nas trajetórias persistente (IQR = 552,73) e epidêmica (IQR = 380,01). A trajetória de transição apresenta distribuição mais concentrada.

Tabela 5 - Medidas descritivas da incidência média (2010-2021)

| Trajетórias | Mínimo | Máximo | Mediana | Q1 | Q3 | IQR |
|-------------|--------|-----------|---------|--------|--------|--------|
| Episódica | 93,94 | 1.228,76 | 346,27 | 223,59 | 456,00 | 232,41 |
| Epidêmica | 175,08 | 10.142,57 | 710,33 | 459,06 | 839,07 | 380,01 |
| Transição | 257,37 | 995,13 | 466,04 | 396,11 | 529,62 | 133,51 |
| Persistente | 337,22 | 1.104,13 | 424,76 | 424,11 | 976,84 | 552,73 |

Legenda: A taxa média é dada pela média do número de casos dividida pela população no meio do período (2015) por 100 mil habitantes. Elaborado por Bruna Drumond Silveira, 2023.

DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, propusemos um modelo de estratificação de risco para dengue na escala intraurbana a partir da caracterização de tipologias transversais de transmissão e de trajetórias epidemiológicas longitudinais. As trajetórias são compostas por sequências de tipologias, permitindo identificar mudanças nos padrões de transmissão a longo prazo. Os indicadores utilizados para caracterizar as tipologias envolviam medidas de magnitude dos casos, tempo/momento do pico da série temporal, duração de períodos com e sem casos, bem como a análise da sazonalidade e tendência da série temporal.

Classificamos três tipologias de transmissão da dengue: episódica, epidêmica e persistente. A tipologia de transmissão episódica apresenta baixos valores de pico e de duração de períodos com casos. Consequentemente, apresenta longos períodos sem casos e uma transmissão com forte sazonalidade. A tipologia de transmissão persistente apresenta valores opostos: altos valores de pico, longos períodos com casos e raros ou mesmo nenhum período sem casos. Possui também uma importante influência do componente de tendência. A tipologia de transmissão epidêmica apresentou diferenças significativas em relação à persistente apenas

na duração dos períodos com e sem casos.

Das quatro trajetórias predominantes encontradas, três apresentaram um padrão de estabilidade, com Regiões Administrativas (RAs) permanecendo, em grande parte, com as mesmas tipologias de transmissão ao longo dos três períodos de estudo. Apenas um grupo apresentou um processo de transição, com RAs que, inicialmente, apresentavam tipologia de transmissão persistente e passaram a apresentar tipologia de transmissão epidêmica ao longo da análise.

Para realizar a primeira análise de cluster, que resultou nas tipologias para os três períodos, padronizamos os indicadores utilizando *Z-score* separadamente para cada período. Isso significa que as RAs são classificadas de acordo com a sua posição relativa em relação às demais regiões da cidade naquele período específico. Portanto, a classificação das tipologias implica numa análise de valores relativos e não absolutos (Delmelle, 2022).

Dessa maneira, a trajetória de transição de tipologia de transmissão persistente para tipologia de transmissão epidêmica não indica que as RAs desse grupo passaram a apresentar um período menor de transmissão sustentada ou um maior período sem casos em relação ao período anterior, mas que essas RAs passaram a ocupar postos relativamente mais baixos do que outras no período em questão.

Da mesma forma, um bairro ou área classificado com tipologia de transmissão epidêmica em outra cidade pode não estar dentro do mesmo intervalo de valores dessa classificação das RAs de Brasília. Justamente por isso, essa classificação relativa permite que esse método seja aplicado em outras cidades, com contextos urbanos e ambientais bastante diferentes.

O modelo de classificação de tipologias de transmissão foi baseado no modelo proposto por Almeida, Lana e Codeço (2022) para classificar perfis de transmissão para municípios em diferentes regiões do país. Elas encontraram um resultado muito semelhante, mas com um quarto perfil representando um perfil intermediário entre o episódico e o epidêmico. Isso demonstra a flexibilidade do modelo para diferentes escalas geográficas de análise.

Apesar da escala nacional e da escala intraurbana apresentarem determinantes de transmissão diferentes, em ambas, os perfis ou tipologias e trajetórias apresentam relação com o tamanho da população, seguindo o mesmo gradiente. A trajetória de transição de tipologia de transmissão persistente para tipologia de transmissão epidêmica, apesar de continuar apresentando o segundo maior tamanho da população, foi a trajetória que apresentou o menor incremento populacional, o que pode estar relacionado com essa mudança de tipologia.

A estratificação de áreas de risco é uma estratégia recomendada pela Organização Pan-

Americana de Saúde (OPAS) para a gestão municipal. Essa Organização elaborou um documento técnico para servir de referência para selecionar métodos e ferramentas de controles de vetor adequada a cada estrato de risco. Os estratos propostos são: áreas sem transmissão, mas com risco entomológico, de baixa transmissão, de transmissão intermediária, de transmissão elevada e áreas de epizootia (OPAS, 2019).

Os estratos de baixa, intermediária e elevada transmissão são similares ao gradiente proposto pelas nossas tipologias de transmissão. No entanto, o modelo da OPAS utiliza apenas a taxa de incidência como variável epidemiológica comum para caracterizar a morbidade nesses três estratos (OPAS, 2019). Nosso modelo, por outro lado, permite capturar diferentes aspectos da transmissão, como momento do pico, duração de períodos com e sem casos, influência da sazonalidade e da tendência, comparáveis entre os estratos. Além disso, por não se basear em limiares fixos, é mais adaptável a diferentes contextos.

As áreas com trajetórias de transmissão persistente e de transição, apesar de menores em número (apenas 32,2% das RAs), registraram 66,71% dos casos acumulados durante todo o período. Proporções similares foram encontradas em Maracay, na Venezuela (Barrera *et al.*, 2000), e em Merida, no México (Bisanzio *et al.*, 2018). Direcionar as ações de controle para esses estratos pode impedir a propagação da doença para outras áreas da cidade e reduzir as transmissões de maneira geral (OPAS, 2019).

A escolha da unidade de análise da RA nos deixou com um número de apenas 31 áreas, o que, para uma cidade do tamanho de Brasília, é um número muito pequeno. Apesar das RAs apresentarem desigualdades relevantes entre si, elas também possuem heterogeneidades internas que não são percebidas nesse nível de análise. Além disso, uma área muito grande pode dificultar a alta cobertura das ações de controle do vetor e comprometer o poder estatístico (OPAS, 2019).

Estratificações que incluam outros tipos de indicadores, construídos a partir de dados socioeconômicos e ambientais, que retratem a vulnerabilidade das populações e a receptividade ao vetor também são relevantes para o planejamento e a priorização de áreas de ações da vigilância (Santos *et al.*, 2020; Siqueira *et al.*, 2022). Assim, como principais perspectivas de trabalhos futuros, pretendemos realizar análises com unidades espaciais menores e que retratem as heterogeneidades do espaço intraurbano e também incluir indicadores que retratem outros aspectos das populações e dos territórios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa atende a demanda por uma metodologia de estratificação de áreas de risco para dengue a nível intraurbano. Utilizamos apenas dados epidemiológicos, disponíveis na maioria dos municípios e de fácil acesso aos serviços de vigilância em saúde. A partir desses dados, calculamos indicadores que representam diferentes aspectos temporais da doença, tais como magnitude dos casos, tempo/momento do pico da série, duração de períodos com e sem casos e medidas de sazonalidade e tendências.

A partir desses indicadores, caracterizamos três tipologias de transmissão da dengue durante três períodos de quatro anos: episódica, epidêmica e persistente. Analisamos as sequências das tipologias para caracterizar as trajetórias epidemiológicas da dengue, capturando as mudanças ocorridas a longo prazo. Encontramos quatro trajetórias, três delas de permanência na mesma tipologia e uma delas apresentando uma transição entre as tipologias persistente e epidêmica.

Por não utilizar limiares fixos, esse modelo é flexível e adaptável a diferentes contextos e escalas de análise. Além disso, a estratificação de tipologias e trajetórias permite o planejamento de ações de vigilância e controle específicas para cada cenários. Configura-se assim, numa ferramenta relevantes para os serviços de vigilância em saúde.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, Andrew; TSAY, Angela. Sequence Analysis and Optimal Matching Methods in Sociology: Review and Prospect. **Sociological Methods & Research**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 3–33, 2000. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0049124100029001001>. Acesso em: 9 ago. 2023.

AGÊNCIA BRASIL. Laboratório pede incorporação da vacina contra dengue no SUS. **Agência Brasil**, [s. l.], 9 ago. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2023-08/laboratorio-pede-incorporacao-da-vacina-contra-dengue-no-sus>. Acesso em: 6 nov. 2023.

AGRESTI, Alan; FINLAY, Barbara. Upper Saddle River, New Jersey, **Statistical Methods for the Social Sciences**. 4. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009.

ALMEIDA, Iasmim Ferreira; LANA, Raquel Martins; CODEÇO, Cláudia Torres. How heterogeneous is the dengue transmission profile in Brazil? A study in six Brazilian states. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 16, n. 9, p. e0010746, 2022. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0010746>. Acesso em: 14 out. 2023.

BARCELLOS, Christovam; LOWE, Rachel. Expansion of the dengue transmission area in Brazil: the role of climate and cities. **Tropical Medicine & International Health**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 159–168, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tmi.12227>. Acesso em: 4 set. 2020.

BARRERA, Roberto *et al.* Estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico. **Revista Panamericana de Salud Pública**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 225–233, 2000. Disponível em: http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-4989200000900001&lng=es&nrm=iso&tlng=es. Acesso em: 6 nov. 2023.

BISANZIO, Donal *et al.* Spatio-temporal coherence of dengue, chikungunya and Zika outbreaks in Merida, Mexico. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. e0006298, 2018. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0006298>. Acesso em: 6 nov. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Anvisa aprova nova vacina contra a dengue**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2023/anvisa-aprova-nova-vacina-para-a-dengue>. Acesso em: 6 nov. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Vigilância em Saúde no Brasil 2003 | 2019: da criação da Secretaria de Vigilância em Saúde aos dias atuais**. Brasília: [s. n.], 2019. Boletim Epidemiológico.

CZERESNIA, Dina; RIBEIRO, Adriana Maria. O conceito de espaço em epidemiologia: uma interpretação histórica e epistemológica. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 595–605, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2000000300002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 5 nov. 2023.

DELMELLE, Elizabeth C. GIScience and neighborhood change: Toward an understanding of processes of change. **Transactions in GIS**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 567–584, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tgis.12871>. Acesso em: 30 abr. 2023.

DELMELLE, Elizabeth C. Mapping the DNA of Urban Neighborhoods: Clustering Longitudinal Sequences of Neighborhood Socioeconomic Change. **Annals of the American Association of Geographers**, [s. l.], v. 106, n. 1, p. 36–56, 2016. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00045608.2015.1096188>. Acesso em: 7 abr. 2023.

DONALÍSIO, Maria Rita. São Paulo, **O dengue no espaço habitado**. São Paulo: Hucitec, 1999.

DRUMOND, Bruna *et al.* Dinâmica espaço-temporal da dengue no Distrito Federal, Brasil: ocorrência e permanência de epidemias. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 1641–1652, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232020000501641&tlng=pt. Acesso em: 24 out. 2023.

FREITAS, Laís Picinini *et al.* Space-time dynamics of a triple epidemic: dengue, chikungunya and Zika clusters in the city of Rio de Janeiro. **Proceedings. Biological Sciences**, [s. l.], v. 286, n. 1912, p. 20191867, 2019.

GABADINHO, Alexis *et al.* Analyzing and Visualizing State Sequences in R with **TraMineR**. **Journal of Statistical Software**, [s. l.], v. 40, n. 4, 2011. Disponível em: <http://www.jstatsoft.org/v40/i04/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

GREENLEE, Andrew J. Assessing the Intersection of Neighborhood Change and Residential

Mobility Pathways for the Chicago Metropolitan Area (2006–2015). **Housing Policy Debate**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 186–212, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10511482.2018.1476898>. Acesso em: 8 ago. 2023.

GUBLER, Duane J. Dengue, Urbanization and Globalization: The Unholy Trinity of the 21st Century. **Tropical Medicine and Health**, [s. l.], v. 39, n. 4SUPPLEMENT, p. S3–S11, 2011. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmh/39/4SUPPLEMENT/39_2011-S05/_article. Acesso em: 5 nov. 2023.

HAIR, Joseph F. *et al.* Andover, Hampshire, **Multivariate data analysis**. Eighth edition. Andover, Hampshire: Cengage, 2019.

KASSAMBARA, Alboukadel. **Practical Guide to Cluster Analysis in R. Unsupervised Machine Learning**. [S. l.]: STHDA, 2017. (Multivariate Analysis I).

KASSAMBARA, Alboukadel; MUNDT, Fabian. **Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses**. versão 1.0.7. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/index.html>. Acesso em: 30 out. 2023.

KAUFMAN, Leonard; ROUSSEEUW, Peter J. Hoboken, N.J, **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**. Hoboken, N.J: Wiley, 2005. (Wiley series in probability and mathematical statistics).

LANA, Raquel Martins *et al.* The introduction of dengue follows transportation infrastructure changes in the state of Acre, Brazil: A network-based analysis. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 11, n. 11, p. e0006070, 2017. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0006070>. Acesso em: 14 out. 2023.

LEE, Sophie A *et al.* The impact of climate suitability, urbanisation, and connectivity on the expansion of dengue in 21st century Brazil. **Plos Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 15, n. 12, 2021.

LOUIS, Valérie R. *et al.* Modeling tools for dengue risk mapping - a systematic review. **International Journal of Health Geographics**, [s. l.], v. 13, p. 50, 2014.

LOWE, Rachel *et al.* Combined effects of hydrometeorological hazards and urbanisation on dengue risk in Brazil: a spatiotemporal modelling study. **The Lancet Planetary Health**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. e209–e219, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2542519620302928>. Acesso em: 6 nov. 2023.

LOWE, Rachel *et al.* The Zika Virus Epidemic in Brazil: From Discovery to Future Implications. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 96, 2018. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1660-4601/15/1/96>. Acesso em: 5 nov. 2023.

MAECHLER, Martin *et al.* **“Finding Groups in Data”: Cluster Analysis Extended Rousseeuw et al.** versão 2.1.4. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/cluster/cluster.pdf>.

OPAS. **Documento técnico para a implementação de intervenções baseado em cenários operacionais genéricos para o controle do Aedes aegypti**. Washington, DC: [s. n.], 2019.

OSANAI, Carlos H. *et al.* Surto de dengue em Boa Vista, Roraima. Nota Prévia. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 53–54, 1983.

PIMENTA JUNIOR, Fabiano Geraldo. Gestão e planejamento na prevenção e no controle do dengue. *In: DENGUE: TEORIAS E PRÁTICAS*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2015. p. 381–406.

R CORE TEAM. **R: The R Project for Statistical Computing**. versão 4.3.1. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 27 out. 2023.

ROMEO-AZNAR, Victoria *et al.* Fine-scale heterogeneity in population density predicts wave dynamics in dengue epidemics. **Nature Communications**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 996, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-28231-w>. Acesso em: 6 nov. 2023.

SANTOS, Jefferson Pereira Caldas *et al.* A Perspective on Inhabited Urban Space: Land Use and Occupation, Heat Islands, and Precarious Urbanization as Determinants of Territorial Receptivity to Dengue in the City of Rio De Janeiro. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 17, n. 18, p. 6537, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/18/6537>. Acesso em: 6 nov. 2023.

SIQUEIRA, Alexandre San Pedro *et al.* ArboAlvo: método de estratificação da receptividade territorial às arboviroses urbanas. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 56, p. 39, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/vcFrknTThctxCwKYNvdNjpN/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 3 out. 2023.

VANLERBERGHE, Veerle *et al.* Changing paradigms in Aedes control: considering the spatial heterogeneity of dengue transmission. **Rev Panam Salud Publica**, [s. l.], 2017.

WEI, Taiyun *et al.* **Visualization of a Correlation Matrix**. versão 0.92. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot/corrplot.pdf>. Acesso em: 24 out. 2023.

WEN, Tzai-Hung *et al.* Spatial mapping of temporal risk characteristics to improve environmental health risk identification: A case study of a dengue epidemic in Taiwan. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 367, n. 2–3, p. 631–640, 2006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969706001203>. Acesso em: 24 out. 2023.

XAVIER, Diego Ricardo *et al.* Spatial-temporal diffusion of dengue in the municipality of Rio de Janeiro, Brazil, 2000-2013. **Cadernos De Saude Publica**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. e00186615, 2017.

APÊNDICE B – MEDIDAS DESCRITIVAS DOS INDICADORES TEMPORAIS

| Indicador | n | mínimo | máximo | mediana | q1 | q3 | iqr | média | desvio padrão |
|------------------|----------|---------------|---------------|----------------|-----------|-----------|------------|--------------|----------------------|
| Xp | 372 | 0 | 416 | 14,00 | 5,00 | 39,00 | 34,00 | 39,27 | 67,23 |
| Tp | 372 | 1 | 48 | 27,00 | 21,00 | 31,00 | 10,00 | 25,32 | 8,46 |
| Dc3 | 372 | 0 | 5 | 1,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,79 | 0,83 |
| Dc6 | 372 | 0 | 3 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,53 | 0,59 |
| Dcmax | 372 | 0 | 52 | 5,00 | 0,00 | 19,00 | 19,00 | 10,66 | 12,29 |
| Dcmed | 372 | 0 | 52 | 1,00 | 0,00 | 4,00 | 4,00 | 4,36 | 7,86 |
| Dci | 372 | 0 | 6 | 1,00 | 0,00 | 2,00 | 2,00 | 1,06 | 1,28 |
| Ds3 | 372 | 0 | 7 | 2,00 | 0,00 | 3,00 | 3,00 | 2,11 | 1,79 |
| Ds6 | 372 | 0 | 5 | 1,00 | 0,00 | 2,00 | 2,00 | 0,95 | 1,10 |
| Dsmax | 372 | 0 | 52 | 6,00 | 2,00 | 11,00 | 9,00 | 7,81 | 7,76 |
| Dsmed | 372 | 0 | 52 | 1,50 | 1,00 | 2,50 | 1,50 | 2,92 | 5,77 |
| P | 372 | 0 | 52 | 12,00 | 1,00 | 24,25 | 23,25 | 14,76 | 14,17 |
| ST | 372 | 0 | 30,73 | 0,88 | 0,28 | 2,30 | 2,02 | 2,47 | 4,04 |

ANEXO A

107



GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL
SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE DO DISTRITO FEDERAL
Diretoria de Vigilância Epidemiológica
Gerência de Informação e Análise de Situação em Saúde

Despacho - SES/SVS/DIVEP/GIASS

Brasília-DF, 15 de setembro de 2022.

DECLARAÇÃO DE ANUÊNCIA

Declaro para os devidos fins que, ciente dos objetivos e dos procedimentos metodológicos do Projeto de Pesquisa "TIPOLOGIAS INTRAURBANAS DE RECEPTIVIDADE E VULNERABILIDADE À DENGUE, CHIKUNGUNYA E ZIKA EM ESPAÇO INTRAURBANOS BRASILEIROS" de responsabilidade da pesquisadora Bruna Drumond Silveira, sob orientação do Professor Dr. Christovam Barcellos, do curso de doutorado em Saúde Pública da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (ENSP) da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), concedemos a anuência para o seu desenvolvimento na Gerência de Informação e Análise de Situação em Saúde (GIASS) da Diretoria de Vigilância Epidemiológica (DIVEP) da Secretaria de Saúde (SES) do Distrito Federal (DF) durante o período de agosto a novembro de 2022, não havendo qualquer despesa para esta instituição que seja decorrente da participação dessa pesquisa.

Ressalto que estou ciente de que serão garantidos os direitos, dentre outros, assegurados pela Resolução nº 466/2012, do Conselho Nacional de Saúde, de:

- 1) Garantia de confidencialidade do anonimato e da não utilização das informações em prejuízo dos outros.
- 2) Emprego dos dados somente para fins previstos nesta pesquisa.
- 3) Retorno dos benefícios obtidos por este estudo para as pessoas e a comunidade onde o mesmo foi realizado.

Informo ainda estar ciente de que este projeto de pesquisa já foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da ENSP/FIOCRUZ, órgão credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Após a defesa do estudo, a pesquisadora deverá enviar a versão final da pesquisa em PDF para a DIVEP, ficando ciente de que poderá ser solicitada uma apresentação oral dos resultados da referida pesquisa para os técnicos e gestores.

Márcia Cristina de Sousa Reis

Especialista em Saúde



Documento assinado eletronicamente por **MARCIA CRISTINA DE SOUSA REIS - Matr.1436420-4, Gerente de Informação e Análise de Situação em Saúde substituto(a)**, em 15/09/2022, às 17:13, conforme art. 6º do Decreto nº 36.756, de 16 de setembro de 2015, publicado no Diário Oficial do Distrito Federal nº 180, quinta-feira, 17 de setembro de 2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site:
[http://sei.df.gov.br/sei/controlador_externo.php?](http://sei.df.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)
[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.df.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0) verificador=
95703819 código CRC= **4ED312C5**.

"Brasília - Patrimônio Cultural da Humanidade"

SEPS 712/912 - Edifício CEREST - Bairro Asa Sul - CEP 70390125 - DF

00060-00186660/2022-79
SEI/GDF 95703819

Doc.