REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

PROPOSTA DE MODELO ESPAÇO-TEMPORAL PARA AVALIAR A ATUAÇÃO DOS AGENTES DE COMBATE ÀS ENDEMIAS SOBRE A INCIDÊNCIA DE ARBOVIROSES SOB DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

PROPOSED SPATIOTEMPORAL MODEL TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF ENDEMIC DISEASE CONTROL AGENTS REGARDING THE INCIDENCE OF ARBOVIRAL DISEASES UNDER DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS

Ciências Exatas e da Terra, Engenharias, Ciências da Saúde • 13/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/794523989

Elaine Pereira Garrido[1]

Erivelton Nonato de Santana[2]

Vagner de Souza Fonseca[3]

RESUMO

Este artigo propõe um modelo espaço-temporal para investigar a associação entre as ações dos Agentes de Combate às Endemias (ACE) e a incidência posterior de dengue, chikungunya e Zika sob diferentes condições climáticas. O desenho teórico-metodológico combina um painel territorial por semana epidemiológica, indicadores de cobertura, intensidade, continuidade e resolutividade, regressão binomial negativa com defasagens, efeitos espaço-temporais e interações com o clima. Define-se como alvo causal o efeito total da intensificação operacional sobre casos subsequentes, distinguindo-o da associação estimada sem pressupostos adicionais. Um diagrama causal explicita a resposta das equipes aos alertas e casos prévios, o papel mediador da dinâmica entomológica e as ameaças de confundimento dependente do tempo. Como demonstração, realizou-se uma simulação inteiramente sintética com 60 territórios e 6.960 observações semanais analisadas. Nela, a associação contemporânea foi positiva (razão de incidência de 2,79), enquanto a especificação defasada e ajustada aproximou-se do efeito protetor conhecido (razão estimada de 0,74; valor gerador de 0,74). Os resultados são ilustrativos e não representam evidência empírica sobre a efetividade dos ACE. A proposta estabelece um protocolo verificável para aplicações futuras, condicionado à qualidade dos registros, à identificação causal e à validação temporal e espacial.

Palavras-chave: arboviroses; agentes de combate às endemias; modelagem espaço-temporal; causalidade reversa; simulação.

ABSTRACT

This article proposes a spatiotemporal model to investigate associations between the activities of endemic disease control agents and subsequent dengue, chikungunya, and Zika incidence

under different weather conditions. The methodological framework combines territory-by-epidemiological-week panels, operational indicators of coverage, intensity, continuity and resolution, negative binomial regression with lags, spatiotemporal effects, and weather interactions. The causal target is the total effect of operational intensification on subsequent cases, which is distinguished from an observational association unless additional assumptions hold. A directed acyclic graph represents responses to prior cases and weather alerts, the mediating role of vector dynamics, and time-varying confounding. A fully synthetic demonstration included 60 territories and 6,960 analyzed weekly observations. The contemporaneous association was positive (incidence rate ratio 2.79), whereas a temporally aligned, adjusted model approached the known protective parameter (estimated rate ratio 0.74; generating value 0.74). These numerical results are illustrative and do not constitute empirical evidence of effectiveness in real-world health services. The proposed protocol is intended for future applications, subject to reliable operational records, defensible causal identification, and temporal and spatial validation.
Keywords: arboviruses; endemic disease control agents; spatiotemporal modeling; reverse causation; simulation.

1. INTRODUÇÃO

As arboviroses transmitidas por mosquitos do gênero Aedes constituem um problema persistente de saúde pública, especialmente em ambientes urbanos e periurbanos. Segundo a Organização Mundial da Saúde, cerca de metade da população mundial está sob risco de dengue; essa estimativa diz respeito especificamente à dengue, não ao conjunto de doenças vetoriais (World Health Organization, 2025). No Brasil, as diretrizes nacionais

recomendam articular vigilância epidemiológica, controle vetorial, participação comunitária e atuação dos Agentes de Combate às Endemias (ACE) (Brasil, 2025a).

Temperatura, precipitação e umidade estão entre as variáveis climáticas mais frequentemente associadas à ocorrência de dengue, com efeitos que variam segundo o lugar e a defasagem temporal (Naish et al., 2014). A temperatura influencia sobrevivência, desenvolvimento, reprodução, frequência de picada e competência vetorial. Essas relações não são necessariamente lineares, pois a transmissão tende a aumentar dentro de faixas térmicas favoráveis e diminuir nos extremos (Mordecai et al., 2017). Os efeitos também podem surgir semanas depois da exposição climática, em razão dos ciclos do vetor e do vírus. Modelos de defasagem distribuída foram desenvolvidos precisamente para representar associações que variam simultaneamente ao longo da exposição e do tempo (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010).

A atuação dos ACE também apresenta dinâmica temporal. As diretrizes brasileiras incluem visitas domiciliares, inspeção e tratamento de depósitos, eliminação de criadouros, bloqueio de transmissão e educação em saúde entre as atividades de vigilância e controle. A intensificação dessas atividades pode ocorrer em resposta ao agravamento de indicadores epidemiológicos ou entomológicos (Brasil, 2025a). Forma-se, assim, um sistema de retroalimentação: as ações procuram reduzir o risco futuro, mas o risco presente influencia onde e quando as equipes atuam. Na inferência causal, situações em que a exposição varia em função da história prévia do desfecho exigem tratamento explícito do confundimento dependente do tempo (Hernán; Robins, 2020). Portanto, uma associação positiva entre ações e casos pode refletir

resposta operacional ao surto, e não efeito prejudicial da intervenção.

A literatura reconhece limitações na evidência sobre a efetividade isolada de diferentes medidas de controle vetorial. A revisão de Bowman, Runge-Ranzinger e McCall (2014) identificou correspondência inconsistente entre índices entomológicos e transmissão humana. Em outra revisão sistemática, Bowman, Donegan e McCall (2016) observaram heterogeneidade de desenhos, intervenções e desfechos, com evidência epidemiológica ainda limitada para várias estratégias de controle. Em contraste, o ensaio comunitário Camino Verde encontrou redução de indicadores vetoriais, doença autorreferida e evidência sorológica de infecção (Andersson et al., 2015). Esses resultados sustentam a necessidade de mensurar separadamente intensidade, continuidade, adesão e adequação territorial das intervenções.

Diante desse problema, pergunta-se: como a cobertura, a intensidade, a continuidade e a resolutividade das ações dos ACE se relacionam com a incidência posterior de arboviroses, em territórios com diferentes perfis climáticos e socioambientais? O estimando causal de interesse é o efeito total médio de uma intensificação operacional realizada após a informação disponível na decisão, em comparação com a manutenção da rotina, sobre a contagem ou incidência de casos na semana subsequente (e, em extensões, em janelas acumuladas de 1 a 4 semanas). Em notação de resultados potenciais, o contraste é $E[Y_{i,t}(a=1) - Y_{i,t}(a=0)]$, com exposição $A_{i,t-1}$ definida antes da observação de $Y_{i,t}$. A análise principal fornece inicialmente associações ajustadas; a interpretação do contraste como causal depende de consistência, intercambialidade condicional, positividade e controle adequado de interferência entre

territórios. O objetivo do artigo é especificar o protocolo, explicitar o diagrama causal, propor a modelagem e demonstrar, com dados sintéticos, o risco de causalidade reversa. “Cenário climático” designa aqui condições meteorológicas observadas ou simuladas, não projeções climáticas de longo prazo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Clima, Vetor e Transmissão

A transmissão de arbovírus resulta da interação entre hospedeiros, vetores, vírus e ambiente (World Health Organization, 2024). A temperatura modifica taxa de picada, desenvolvimento larval, sobrevivência adulta e período de incubação extrínseca. A relação agregada tende a ser unimodal, pois temperaturas muito baixas retardam processos biológicos e temperaturas excessivas reduzem a sobrevivência do vetor. Os modelos mecanísticos de Mordecai et al. (2017) indicam respostas térmicas relevantes para dengue, chikungunya e Zika, com limites que variam conforme espécie vetorial e vírus.

A precipitação pode aumentar a disponibilidade de criadouros, enquanto chuvas muito intensas podem produzir efeitos distintos e até reduzir habitats larvários em determinados contextos (Naish et al., 2014). A umidade contribui para a sobrevivência e a atividade do mosquito, mas seu efeito varia entre localidades (Figueredo et al., 2023). As diretrizes nacionais reconhecem que abastecimento de água, manejo de resíduos, urbanização e práticas domiciliares condicionam a proliferação vetorial (Brasil, 2025a). Portanto, o clima deve ser modelado em conjunto com características territoriais, e não como causa isolada.

2.2. Trabalho dos ACE e Mensuração da Intervenção

As diretrizes nacionais atribuem à vigilância a análise integrada de indicadores epidemiológicos e entomológicos para subsidiar decisões, além de reforçar a articulação dos ACE com a atenção primária e a comunidade (Brasil, 2025a; 2025b). Entretanto, contar apenas visitas ou imóveis trabalhados não descreve suficientemente a intervenção. Duas equipes podem alcançar cobertura semelhante com regularidade, oportunidade, qualidade de inspeção e resolução de pendências distintas.

Propõe-se decompor a atuação em quatro dimensões. Cobertura corresponde à proporção do universo elegível efetivamente alcançado. Intensidade expressa o volume de ações por população, imóvel ou área. Continuidade representa a regularidade dos ciclos ao longo do tempo. Qualidade ou resolutividade considera inspeções completas, depósitos tratados ou eliminados, retorno a imóveis fechados e fechamento de pendências. A integração entre ACE e equipes de saúde adiciona uma dimensão organizacional, pois comunicação, territorialização e compartilhamento de informações afetam a oportunidade da resposta (Pereira et al., 2021).

2.3. Efetividade, Temporalidade e Causalidade Reversa

O efeito de uma ação de controle não é instantâneo, porque a redução de formas imaturas antecede eventuais mudanças na transmissão e nos casos notificados. A manutenção das medidas também interfere na efetividade, pois ações pontuais podem não produzir proteção duradoura (Bowman; Donegan; McCall, 2016). Assim, indicadores operacionais devem entrar no modelo com

defasagens compatíveis com o mecanismo, evitando atribuir aos agentes casos decorrentes de infecções anteriores à intervenção.

A causalidade reversa é o principal desafio de identificação. Quando o aumento de casos ativa visitas, bloqueios ou aplicação de insumos, a exposição operacional passa a depender da história do desfecho. Esse tipo de estrutura longitudinal não é resolvido apenas pelo ajuste de clima e sazonalidade e requer explicitação das relações causais e dos confundidores que variam no tempo (Hernán; Robins, 2020). Por isso, o banco deve registrar o momento da decisão, os indicadores antecedentes e as regras de priorização. Também se recomenda separar atividades rotineiras de respostas a surtos e comparar diferentes janelas de defasagem como análise de sensibilidade.

3. METODOLOGIA

3.1. Natureza do Estudo e Unidade de Análise

Trata-se de estudo teórico-metodológico que especifica um desenho observacional longitudinal e ecológico para aplicação em municípios, distritos sanitários, bairros ou setores operacionais. A unidade preferencial é território por semana epidemiológica, pois estudos climáticos sobre dengue mostram que associações relevantes podem ocorrer em defasagens específicas (Naish et al., 2014). Quando os registros operacionais forem apenas mensais, todas as fontes devem ser harmonizadas nessa frequência, sem replicar mecanicamente valores mensais em semanas como se fossem observações independentes.

3.2. Fontes e Variáveis

A implementação requer vinculação por código territorial e tempo. Casos prováveis ou confirmados devem ser organizados por data de início de sintomas, quando disponível, e a população deve ser incorporada como offset nos modelos de contagem (Hilbe, 2011). Os dados operacionais devem preservar data, equipe, tipo de ação, imóveis elegíveis, visitados, fechados, recusados, tratados e revisitados, em consonância com o monitoramento preconizado pelas diretrizes nacionais (Brasil, 2025a). Temperaturas média, mínima e máxima, precipitação acumulada e umidade relativa são variáveis climáticas prioritárias em estudos sobre dengue (Naish et al., 2014). Abastecimento de água, manejo de resíduos e urbanização devem compor o bloco territorial, pois condicionam a formação de criadouros e a execução do controle.

Quadro 1. Blocos de dados e tratamento analítico

Bloco	Indicadores mínimos	Tratamento analítico
Desfecho	Casos por arbovirose; incidência; hospitalizações, se disponíveis	Contagem com offset populacional; análise específica por doença e desfecho
Atuação dos ACE	Cobertura de imóveis; visitas por 1.000 imóveis; depósitos inspecionados/tratados; pendências; ações educativas	Índices separados e composto secundário; defasagens; distinção entre rotina e resposta a surto
Entomologia	Índice predial, Breteau, positividade de ovitrampas, ovos, focos	Mediador pós-ação: NÃO ajustar no efeito total; avaliar como desfecho intermediário separado. Informação entomológica pré-decisão pode compor o histórico de indicação.

Clima	Temperatura, precipitação e umidade	Efeitos não lineares/defasados; clima também pode mobilizar equipes; pré-definir interações.
Território	Saneamento, densidade, renda, urbanização, saúde	Ajuste de confundimento e análise de heterogeneidade
Processo	Efetivo de ACE, dias trabalhados, insumos, veículos, cobertura de sistema	Denominadores operacionais e modificadores de capacidade

Fonte: elaboração própria (2026)

3.3. Construção dos Indicadores Operacionais

Os indicadores terão denominadores explícitos. Cobertura por ciclo: imóveis efetivamente trabalhados/imóveis elegíveis; intensidade: ações concluídas por 1.000 imóveis ou habitantes; continuidade: proporção de períodos previstos com execução; pendências: imóveis fechados ou recusas/imóveis programados; resolutividade: pendências solucionadas no prazo/pendências identificadas. Visitas repetidas não devem ser confundidas com imóveis únicos. O escore composto é secundário e condicionado à avaliação de consistência, colinearidade e interpretação dos componentes. Para a simulação e a análise causal complementar, define-se intensificação binária como incremento acima de limiar operacional pré-especificado; aplicações deverão justificar esse limiar.

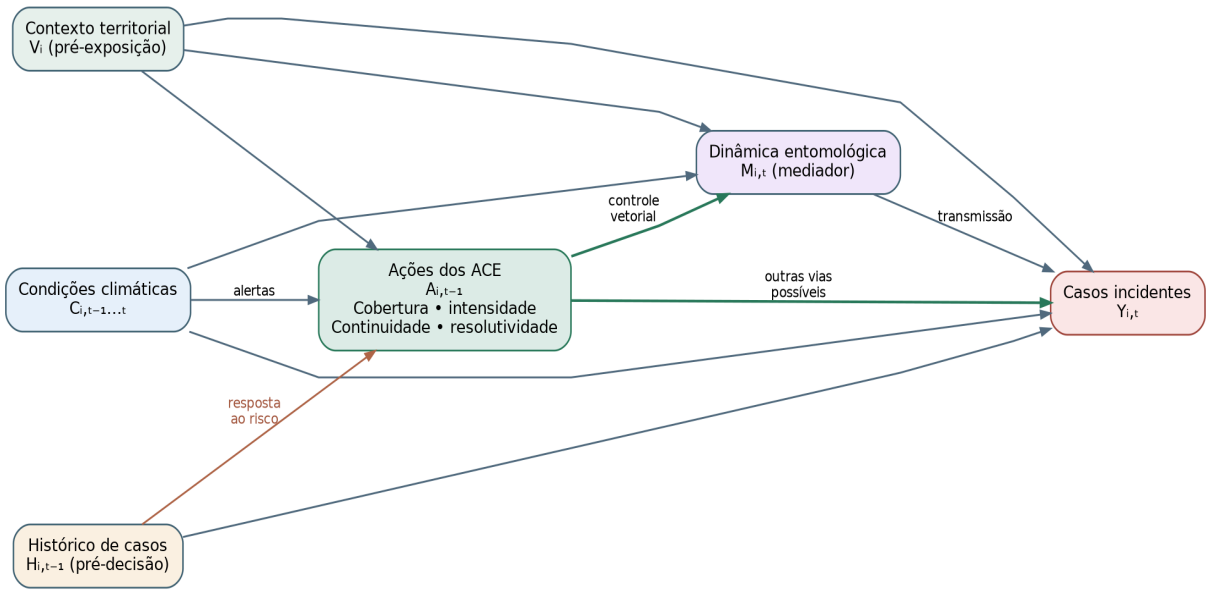
Antes da estimação, serão examinadas a distribuição da cobertura, a variação intra e interterritorial, a frequência de semanas sem ação, a sobreposição dos históricos de risco entre territórios intensificados e não intensificados e as probabilidades estimadas de receber cada

regime operacional. Exposições quase constantes inviabilizam contrastes precisos e podem violar a positividade exigida por ponderação pela probabilidade inversa; nesses casos, o estimando e o escopo da inferência deverão ser restringidos, em vez de extrapolados a territórios sem suporte comum.

3.4. Estrutura Causal

A Figura 1 apresenta um diagrama acíclico dirigido (DAG) temporalmente ordenado. O clima e o contexto territorial podem afetar simultaneamente as ações dos ACE e a incidência. Sinais epidemiológicos antecedentes podem mobilizar as equipes e também prever os casos futuros, caracterizando confundimento por indicação. As ações podem alterar a incidência por meio da dinâmica entomológica e por outras vias, de modo que o efeito total inclui as vias mediadas. Por isso, índices entomológicos medidos após a intervenção não devem ser ajustados no modelo que busca o efeito total; podem ser examinados como desfechos intermediários em análise separada. Para identificação, as variáveis de ajuste devem representar condições anteriores à decisão (Hernán; Robins, 2020).

Figura 1. DAG temporal da relação entre contexto, clima, atuação dos ACE, dinâmica entomológica e incidência de arboviroses



Fonte: elaboração própria (2026).

3.5. Modelo Estatístico

Seja Y_{it} a contagem semanal de casos da doença analisada no território i, com média μ_{it} e dispersão θ. O núcleo observacional proposto é binomial negativo, apropriado quando a variância excede a média (Hilbe, 2011). A exposição $A_{i,t-k}$ representa a ação documentada k semanas antes; C descreve as condições climáticas, V as covariáveis preexposição, H o histórico de risco disponível na decisão, $\gamma(t)$ a tendência e sazonalidade e b_i o efeito territorial BYM2. A especificação geral, a ser simplificada segundo a disponibilidade amostral e a identificabilidade, é:

$$Y_{it} \sim NB(\mu_{it}, \theta),\ Var(Y_{it}) = \mu_{it} + \mu_{it}^2/\theta. \quad (1)$$

$$\log(\mu_{it}) = \log(Pop_{it}) + \beta_0 + b_i(BYM2) + \gamma(t) + \Sigma_{k=1}^{K} \beta_k A_{i,t-k} + f(C_{i,t:t-L}) + \Sigma_{k=1}^{K} \delta_k [A_{i,t-k} \times h(C_{i,t-k})] + \eta^T V_{i,pré} + \varphi \log(1 + H_{i,pré}). \quad (2)$$

Em (1), θ é o parâmetro de forma da binomial negativa, com $Var(Y) = \mu + \mu^2/\theta$. Em (2), $b_i(BYM2)$ designa um único efeito territorial aleatório que combina componentes espacial estruturado e não estruturado com restrições e parametrização próprias (Riebler et al., 2016),

evitando a inclusão simultânea e não identificada de interceptos territoriais livres e de um efeito CAR. γ(t) representa tendência e sazonalidade, f(·) uma função climática não linear com defasagens, h(·) uma transformação climática previamente definida, β_k a associação defasada da ação e δ_k sua modificação pelo clima. $V_{i,pré}$ e $H_{i,pré}$ contêm somente informações anteriores à decisão operacional pertinente. O termo histórico pode incluir log(1 + casos anteriores), mas sua indexação exige cronologia demonstrável. A inclusão de desfecho defasado em modelos dinâmicos com efeitos fixos e painéis curtos pode introduzir viés (Nickell, 1981); a escolha do BYM2 evita essa combinação particular, sem eliminar outras fontes de endogeneidade. A função f pode utilizar bases cruzadas de modelos de defasagens distribuídas não lineares (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010).

A interação entre ações dos ACE e clima procura identificar modificação da associação por condições meteorológicas. A interpretação deve se basear em contrastes preditivos e respectivos intervalos de incerteza, comparando regimes operacionais em percentis climáticos locais, sem atribuir automaticamente causalidade. Para o efeito total, não serão inseridos mediadores entomológicos posteriores à ação. Os termos de interação serão limitados por plausibilidade substantiva, suporte de dados e colinearidade, e a análise da função exposição–defasagem deverá considerar efeitos acumulados (Gasparrini, 2014).

3.6. Estratégia Contra Vieses e Confundimento

O Quadro 2 sistematiza ameaças à validade, os cuidados com a sequência temporal e estratégias de diagnóstico. A primeira análise será a associação condicionada estimada por binomial negativa; ela

não deve ser denominada efeito causal sem demonstração de identificação.

Quadro 2. Ameaças à validade e estratégias de controle

Ameaça	Como surge	Resposta proposta
Causalidade reversa	Casos crescentes desencadeiam intensificação das equipes	Alinhar ação e desfecho; controlar informação pré-decisão; distinguir rotina e resposta a surto.
Confundimento por indicação	Territórios de maior risco recebem mais recursos	Descrever probabilidade temporal de intensificação dado o histórico; avaliar suporte comum e balanceamento.
Erro de mensuração	Visitas registradas não equivalem a inspeções completas	Indicadores de qualidade; auditoria amostral; análise com diferentes definições de exposição
Subnotificação	Capacidade diagnóstica e procura por serviço variam	Ajustar acesso e testes; usar hospitalização quando pertinente; análise de sensibilidade
Colinearidade climática	Temperatura, chuva e umidade são correlacionadas	Seleção causal prévia; penalização; comparação de especificações; evitar inclusão automática
Interferência espacial	Ação em um território afeta áreas vizinhas	Defasagens espaciais, matriz de vizinhança e efeitos aleatórios espaciais

Fonte: elaboração própria (2026)

Quando regras administrativas exógenas determinarem a expansão de equipes, poderão ser avaliados estudos de evento, diferenças-em-

diferenças ou instrumentos, desde que suas premissas sejam justificadas. Como análise causal complementar, modelos estruturais marginais (MSM) com ponderação pelo inverso da probabilidade (IPW) poderão estimar contrastes marginais de regimes operacionais. Para intensificação binária, o escore de propensão temporal é $P(A_{it} = 1 \mid \text{histórico anterior à decisão})$, incluindo casos antecedentes, clima, risco entomológico preexposição, capacidade e regras locais de priorização. Os pesos estabilizados dependem da consistência do tratamento, de intercambialidade sequencial, de correta especificação do modelo de tratamento e de positividade: para históricos comparáveis, deve existir chance não nula de cada regime. Serão verificados pesos extremos, balanceamento, distribuição de escores e suporte comum; truncamento de pesos, quando utilizado, deverá ser explicitado. Se houver exposição quase universal, IPW poderá ser inviável e não deverá ser apresentado como solução automática (Hernán; Robins, 2020). O modelo de desfecho condicional e o MSM têm parâmetros diferentes e serão relatados separadamente.

3.7. Validação e Análises de Sensibilidade

A validação deve respeitar separação temporal e espacial, pois partições aleatórias tendem a otimizar indevidamente métricas com observações dependentes. Recomenda-se treino em períodos anteriores, validação em intervalo posterior e teste final não utilizado no desenvolvimento, acrescidos de bloqueios territoriais (Roberts et al., 2017). Para previsão pontual serão reportados erro absoluto médio (MAE) e raiz do erro quadrático médio (RMSE). Para previsão probabilística sob a distribuição binomial negativa, serão calculados escore logarítmico e escore de probabilidade contínua ranqueada (CRPS), além do histograma do transformador integral de

probabilidade randomizado (PIT), calibração e cobertura de intervalos preditivos. Estimativas causais, quando cabíveis, exigirão diagnósticos adicionais de balanceamento e positividade, e não apenas métricas preditivas.

Quadro 3. Plano de validação e análises de sensibilidade

Análise	Finalidade	Critério
Defasagens alternativas	Verificar robustez temporal	Comparar janelas de 1–4, 1–8 e 1–12 semanas
Definições da exposição	Testar dependência do indicador	Distribuição e sobreposição de exposição; cobertura, intensidade, continuidade e resolutividade separadas.
Períodos epidêmicos	Avaliar influência de respostas excepcionais	Modelos com e sem semanas de campanha ou bloqueio
Dados faltantes	Mensurar viés de disponibilidade	Casos completos, imputação múltipla e indicador de ausência
Escala territorial	Avaliar problema de unidade espacial	Município, distrito ou setor; testar estabilidade das associações e do suporte comum.
Distribuição do desfecho	Avaliar sobredispersão e excesso de zeros	Poisson, binomial negativa e modelos com componente de zeros

Fonte: elaboração própria (2026).

3.8. Aspectos Éticos e Reprodutibilidade

O presente trabalho utiliza literatura e dados gerados artificialmente, sem recrutamento, identificação de participantes ou acesso a

registros individuais, não configurando protocolo empírico com seres humanos. Uma aplicação futura com dados pessoais, mesmo desidentificados, exigirá verificação institucional de enquadramento ético e proteção dos dados, à luz da Resolução CNS nº 466/2012 e normas pertinentes. A Resolução CNS nº 510/2016 disciplina pesquisas em Ciências Humanas e Sociais e prevê hipóteses de não submissão para informações públicas ou agregadas sem possibilidade de identificação; tal dispositivo não deve ser aplicado automaticamente a qualquer estudo epidemiológico (Brasil, 2012; 2016). A replicação da demonstração sintética é possível com o script, a semente aleatória, as versões de dependências e o protocolo entregues como material suplementar. Sua disponibilização pública em repositório externo permanece pendente e não é aqui afirmada.

3.9. Protocolo da Demonstração Computacional Sintética

Gerou-se, exclusivamente para demonstrar a retroalimentação temporal, um painel inteiramente sintético de 60 territórios durante 120 semanas. Após descartar quatro semanas de inicialização por território, permaneceram 6.960 observações. A contagem Y_{it} foi sorteada de uma binomial negativa com sobredispersão $\alpha = 0{,}35$ (equivalente a $\theta = 1/\alpha$), média dependente de clima, sazonalidade, heterogeneidade territorial, $\log(1 + Y_{i,t-1})$ e ação anterior $A_{i,t-1}$. Fixou-se deliberadamente um coeficiente protetor verdadeiro $\beta = -0{,}30$ para $A_{i,t-1}$, correspondente a razão de incidência $\exp(-0{,}30) \approx 0{,}74$. A chance de intensificar a ação na semana t aumentou com Y_{it}, representando mobilização reativa. O algoritmo inclui semente fixa (20261104) e permite gerar o painel novamente.

Compararam-se dois modelos ilustrativos: (i) regressão binomial negativa inadequada com casos e intensificação contemporâneos; e

(ii) regressão com a ação antecedente, histórico de casos, clima, sazonalidade e efeitos fixos por território. Para isolar o mecanismo, ambas utilizaram o parâmetro de sobredispersão conhecido do gerador, com erros-padrão agrupados por território. Essa demonstração simplificada não implementa o BYM2, as interações climáticas ou o MSM completos propostos nas seções anteriores e não constitui estudo de Monte Carlo com repetidas sementes. Os resultados, portanto, validam apenas a execução deste exemplo sob suas condições artificiais, não a inferência em dados reais.

4. MODELO CONCEITUAL PROPOSTO E DISCUSSÃO

4.1. Contribuição Analítica

A contribuição conceitual consiste em tratar a atuação dos ACE como exposição multidimensional, dinâmica e parcialmente endógena, com alvo causal definido e separação entre associação observacional e possível efeito total. Não basta verificar se há mais visitas nos locais de maior incidência; é necessário distinguir ações programadas de intensificação reativa e documentar sua precedência temporal.

Essa mudança evita três simplificações frequentes. A primeira é usar o número absoluto de visitas sem considerar o universo elegível. A segunda é supor efeito contemporâneo, ignorando que casos notificados após uma ação podem corresponder a infecções anteriores. A terceira é comparar territórios sem controlar a priorização de equipes para áreas que já apresentavam maior risco.

A binomial negativa acomoda sobredispersão; defasagens e funções climáticas não lineares permitem representar processos biológicos com atrasos e modificação do risco pelo ambiente (Hilbe, 2011;

Gasparrini, 2014; Mordecai et al., 2017). O componente espacial BYM2 é uma extensão proposta para a aplicação empírica, condicionada a informação geográfica e identificabilidade (Riebler et al., 2016). As covariáveis não devem incluir mediadores posteriores à exposição quando o objetivo for o efeito total.

4.2. Resultado Ilustrativo da Simulação Sintética

No painel gerado, a análise contemporânea inadequada produziu coeficiente de 1,0245 (IC 95%: 0,9560 a 1,0929), equivalente a razão de incidência de 2,79 (IC 95%: 2,60–2,98). Isso ocorre porque, pelo desenho artificial, a intensificação da semana foi acionada por maior número de casos já observados. Após alinhar a ação ao desfecho subsequente e ajustar o histórico, o clima, a sazonalidade e a heterogeneidade territorial, obteve-se coeficiente de −0,3075 (IC 95%: −0,3452 a −0,2697), razão de incidência 0,735 (IC 95%: 0,708–0,764). O coeficiente gerador predefinido era −0,30 (razão 0,741).

Figura 2. Coeficientes estimados em dois modelos sobre dados inteiramente sintéticos (IC 95%)



Fonte: elaboração própria a partir de simulação reprodutível (2026). Linha tracejada: parâmetro gerador; linha pontilhada: associação nula.

A inversão de sinal neste experimento ilustra um mecanismo possível de confundimento por resposta operacional. Ela não demonstra que os ACE sejam protetores em determinado município, nem garante que o modelo ajustado identificará um efeito causal em painéis reais. O exemplo utiliza uma única semente, pressupõe fatores relevantes observáveis e não avalia erros de mensuração, interferência entre municípios ou modificação da resposta por sorotipos. Esses pontos deverão ser examinados em estudos empíricos e simulações repetidas.

4.3. Cenários Climáticos e Operacionais

O produto esperado para a decisão é uma superfície de cenários operacionais e meteorológicos, com incerteza. Em aplicação real, diferenças ou razões de incidência previstas entre níveis de cobertura e continuidade devem ser interpretadas inicialmente como previsões condicionais, não como garantias de prevenção. A comparação causal entre regimes somente será apresentada quando suas premissas de identificação forem defensáveis. O Quadro 4 sintetiza possibilidades de uso gerencial.

Quadro 4. Cenários climáticos e operacionais

Cenário	Clima	Atuação dos ACE	Uso gerencial
A – rotina favorável	Baixo risco climático	Cobertura e continuidade usuais	Manter vigilância e corrigir pendências
B – alerta climático	Temperatura e umidade favoráveis ao vetor	Cobertura usual	Antecipar ciclos e intensificar comunicação
C – capacidade reforçada	Alto risco climático	Alta cobertura, continuidade e resolutividade	Priorizar áreas com maior benefício predito
D – restrição operacional	Alto risco climático	Baixa cobertura ou descontinuidade	Acionar contingência, redistribuir equipes e insumos

Fonte: elaboração própria (2026)

As diretrizes brasileiras recomendam que a informação entomológica e epidemiológica sustente decisões locais. O mesmo documento estabelece que as estratégias sejam adaptadas às características do território (Brasil, 2025a). O modelo transforma essas orientações em estrutura quantitativa, mas não substitui julgamento técnico, conhecimento comunitário ou investigação de campo.

4.4. Interpretação dos Possíveis Achados

Uma associação negativa defasada entre maior cobertura e incidência é compatível com efeito protetor, mas permanece dependente das premissas de controle de confundimento. Associação nula pode indicar ação insuficiente, indicador inadequado, baixa variabilidade de exposição ou desfecho distante do mecanismo. Associação positiva contemporânea é especialmente suspeita de causalidade reversa e deve ser confrontada com o calendário de alertas e bloqueios.

A ausência de redução de casos, mesmo diante de melhora entomológica, não constitui necessariamente contradição. Índices larvários nem sempre apresentam correspondência estável com transmissão humana (Bowman; Runge-Ranzinger; McCall, 2014). Além disso, o esforço de busca pode elevar simultaneamente a detecção de focos e o registro das ações. Por isso, casos, indicadores entomológicos e medidas de processo devem ser analisados como desfechos distintos.

Efeitos heterogêneos também são esperados. As diretrizes nacionais reconhecem que armazenamento de água e manejo inadequado de resíduos favorecem a formação de criadouros em contextos específicos (Brasil, 2025a). A exposição humana também pode ocorrer fora do território de residência, o que limita análises baseadas apenas no endereço de notificação. Intervenções comunitárias integradas produziram redução de infecção e de indicadores vetoriais no ensaio Camino Verde (Andersson et al., 2015). Para várias ações químicas, biológicas ou ambientais, entretanto, a força da evidência epidemiológica permanece heterogênea (Bowman; Donegan; McCall, 2016).

4.5. Aplicabilidade e Limites

A estrutura pode apoiar dimensionamento de equipes, priorização territorial, definição de ciclos e avaliação de continuidade, finalidades coerentes com o uso gerencial dos indicadores recomendado pelo Ministério da Saúde (Brasil, 2025a). Também permite identificar lacunas de registro: sem denominador de imóveis, data da ação, tipo de atividade e motivo da mobilização, não é possível distinguir esforço rotineiro de resposta emergencial. A melhoria do dado operacional constitui, portanto, parte necessária da avaliação.

As limitações centrais são a natureza ecológica do painel futuro, a possível confusão dependente do tempo, os deslocamentos de pessoas e vetores, a subnotificação, os atrasos dos registros e a interferência entre territórios. O DAG é uma representação simplificada, não prova de identificação. O experimento aqui apresentado é sintético, usa uma única realização e um modelo reduzido; não demonstra efetividade real nem a viabilidade de todas as camadas espaciais e causais propostas. A validação prospectiva e espacial deverá ser independente do ajuste, evitando vazamento de informação (Roberts et al., 2017). “Cenário climático” não equivale a projeção de mudanças climáticas (Naish et al., 2014).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo apresenta um protocolo teórico-metodológico para examinar associações entre atuação dos ACE e incidência de arboviroses em um painel espaço-temporal. A decomposição de cobertura, intensidade, continuidade e resolutividade, o estimando causal explícito e o DAG permitem separar a ação programada da resposta a sinais de risco. A dinâmica entomológica posterior à ação

é tratada como mediadora potencial, e não como ajuste automático do efeito total.

Propõe-se regressão binomial negativa com defasagens, funções climáticas não lineares e componente territorial BYM2, associada a análise de identificação, positividade e alternativas causais complementares. A demonstração sintética foi executada e produziu o padrão previsto para o cenário gerado: associação contemporânea positiva por mobilização reativa, em contraste com estimativa defasada próxima ao parâmetro protetor conhecido. Trata-se de um resultado computacional ilustrativo, não de avaliação de efetividade no serviço público.

O manuscrito não representa inferência causal automática a partir de dados rotineiros. O script reprodutível, a semente, o painel artificial e a figura de resultados acompanham esta revisão como material suplementar; não há depósito público declarado. Como etapa seguinte, recomenda-se testar a viabilidade operacional e a positividade e, depois, aplicar o protocolo a dados municipais ou intramunicipais da Bahia, separando dengue, chikungunya e Zika e realizando validação temporal e espacial independente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, Neil et al. Evidence based community mobilisation for dengue prevention in Nicaragua and Mexico (Camino Verde, the Green Way): cluster randomised controlled trial. BMJ, London, v. 351, h3267, 2015. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.h3267. Acesso em: 14 out. 2026.

BOWMAN, Leigh R.; DONEGAN, Sarah; MCCALL, Philip J. Is dengue vector control deficient in effectiveness or evidence? Systematic

review and meta-analysis. PLOS Neglected Tropical Diseases, San Francisco, v. 10, n. 3, e0004551, 2016. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004551. Acesso em: 14 out. 2026.

BOWMAN, Leigh R.; RUNGE-RANZINGER, Silvia; MCCALL, Philip J. Assessing the relationship between vector indices and dengue transmission: a systematic review of the evidence. PLOS Neglected Tropical Diseases, San Francisco, v. 8, n. 5, e2848, 2014. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002848. Acesso em: 14 out. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Aprova diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Brasília, DF: Conselho Nacional de Saúde, 2012. Disponível em: https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/atos-normativos/resolucoes/2012/resolucao-no-466.pdf. Acesso em: 24 out. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. Brasília, DF: Conselho Nacional de Saúde, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/atos-normativos/resolucoes/2016/resolucao-no-510.pdf/view. Acesso em: 24 out. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretriz nacional para atuação integrada dos agentes de combate às endemias e agentes comunitários de saúde no território. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2025b. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/vigilancia-ambiental/diretriz-nacional-

para-atuacao-dos-ace-e-acs-no-territorio.pdf. Acesso em: 24 out. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretrizes nacionais para prevenção e controle das arboviroses urbanas: vigilância entomológica e controle vetorial. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2025a. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/dengue/diretrizes-nacionais-para-prevencao-e-controle-das-arboviroses-urbanas-vigilancia-entomologica-e-controle-vetorial.pdf. Acesso em: 26 out. 2026.

FIGUEREDO, Marcos Batista et al. Analysis of the correlation between climatic variables and Dengue cases in the city of Alagoinhas/BA. Scientific Reports, v. 13, n. 1, art. 7512, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-023-34349-8. Acesso em: 24 out. 2026.

GASPARRINI, Antonio; ARMSTRONG, Ben; KENWARD, Michael G. Distributed lag non-linear models. Statistics in Medicine, Chichester, v. 29, n. 21, p. 2224–2234, 2010. DOI: https://doi.org/10.1002/sim.3940. Acesso em: 24 out. 2026.

GASPARRINI, Antonio. Modeling exposure-lag-response associations with distributed lag non-linear models. Statistics in Medicine, Chichester, v. 33, n. 5, p. 881–899, 2014. DOI: https://doi.org/10.1002/sim.5963. Acesso em: 24 out. 2026.

HERNÁN, Miguel A.; ROBINS, James M. Causal inference: what if. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2020. Disponível em: https://miguelhernan.org/whatifbook. Acesso em: 20 out. 2026.

HILBE, Joseph M. Negative binomial regression. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

MORDECAI, Erin A. et al. Detecting the impact of temperature on transmission of Zika, dengue, and chikungunya using mechanistic models. PLOS Neglected Tropical Diseases, San Francisco, v. 11, n. 4, e0005568, 2017. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005568. Acesso em: 14 out. 2025.

NAISH, Suchithra et al. Climate change and dengue: a critical and systematic review of quantitative modelling approaches. BMC Infectious Diseases, London, v. 14, art. 167, 2014. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-167. Acesso em: 14 out. 2025.

NICKELL, Stephen. Biases in dynamic models with fixed effects. Econometrica, v. 49, n. 6, p. 1417–1426, 1981. DOI: https://doi.org/10.2307/1911408.

PEREIRA, Glória de Araújo; PÍCOLI, Renata Palópoli; CAZOLA, Luiza Helena de Oliveira. Integração do agente de combate às endemias na Estratégia Saúde da Família, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2017. Epidemiologia e Serviços de Saúde, Brasília, DF, v. 30, n. 1, e2019500, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/S1679-49742021000100018. Acesso em: 14 out. 2025.

RIEBLER, Andrea; SØRBYE, Sigrunn H.; SIMPSON, Daniel; RUE, Håvard. An intuitive Bayesian spatial model for disease mapping that accounts for scaling. Statistical Methods in Medical Research, v. 25, n. 4, p. 1145–1165, 2016. DOI: https://doi.org/10.1177/0962280216660421. Acesso em: 20 out. 2026.

ROBERTS, David R. et al. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. Ecography, Hoboken, v. 40, n. 8, p. 913–929, 2017. DOI: https://doi.org/10.1111/ecog.02881. Acesso em: 14 out. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Dengue and severe dengue. Geneva: WHO, 21 Aug. 2025. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue. Acesso em: 25 out. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global strategic preparedness, readiness and response plan for dengue and other Aedes-borne arboviruses. Geneva: WHO, 2024. Disponível em: https://www.who.int/publications/m/item/global-strategic-preparedness--readiness-and-response-plan-for-dengue-and-other-aedes-borne-arboviruses. Acesso em: 26 out. 2026.

---

[1] Engenheira Sanitarista e Ambiental. Especialista em Meio Ambiente e Sustentabilidade. Mestranda em Modelagem e Simulação de Biossistemas na Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Campus II. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-1722-1404.

[2] Professor da Universidade do Estado da Bahia. Campus II - Alagoinhas. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[3] Professor da Universidade do Estado da Bahia. Campus II - Alagoinhas. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail