ARTIGO ORIGINAL

Modelo Multicritério Expandido para Dimensionamento de Plataformas Operacionais Multifuncionais em Vigilância em Saúde Urbana: Controle Vetorial, Sanitização Ambiental e Controle de Pragas em Espaços Públicos

Expanded Multicriteria Model for Operational Planning of Multifunctional Platforms in Urban Health Surveillance: Vector Control, Environmental Sanitation and Pest Control in Public Spaces

Deivid Robert de Cresci Campos
Movement Innovation Solutions / Gestão em Saúde Pública, Rio de Janeiro, Brasil
Correspondência: deivid.cresci.drcc@gmail.com

Submetido para: Cadernos de Saúde Pública / Ciência & Saúde Coletiva

RESUMO

Introdução: As arboviroses urbanas e as infecções respiratórias sazonais configuram dupla carga epidemiológica de crescente complexidade para os municípios brasileiros. Modelos tradicionais de dimensionamento operacional, baseados exclusivamente em critérios populacionais ou em parâmetros normativos concebidos para equipamentos costais a pé, apresentam limitações metodológicas relevantes para representar a complexidade das demandas contemporâneas de vigilância em saúde urbana.

Objetivo: Desenvolver e validar o Índice Operacional de Plataformas Expandidas Multifuncionais (IOPEM), modelo multicritério para dimensionamento de motocicletas pulverizadoras multifuncionais destinadas à execução integrada de controle vetorial de arboviroses, sanitização ambiental e controle de pragas urbanas em espaços públicos.

Métodos: Estudo metodológico aplicado, estruturado em sete etapas: revisão integrativa técnico-científica e normativa; construção do Índice Integrado de Necessidade Operacional Vetorial (IINOV) com seis domínios; desenvolvimento dos índices complementares ISAN (Índice de Sanitização Ambiental) e IPPU (Índice de Pragas em Espaços Públicos); formulação matemática do IOPEM como soma ponderada dos três componentes; validação conceitual por especialistas; aplicação piloto em três municípios metropolitanos brasileiros (São João de Meriti/RJ, São Gonçalo/RJ e São Bernardo do Campo/SP); e análise exploratória de custo-efetividade com base em dados SIGTAP/SUS.

Resultados: O IINOV resultou em 0,85 (Crítico) para São João de Meriti, 0,78 (Elevado) para São Gonçalo e 0,54 (Moderado-Alto) para São Bernardo do Campo. O IOPEM expandido, aplicado a São Bernardo do Campo, estimou a necessidade de 46 motocicletas pulverizadoras multifuncionais distribuídas em três frentes: 27 para controle vetorial (critério base 1/36.000 hab ajustado pelo IINOV), 13 para locais públicos (sanitização + pragas + nebulização UBV em 488 equipamentos municipais, cobrindo 2.274.000 m²/mês) e 6 de reserva técnica. A análise de custo-efetividade exploratória indicou que a internação de 5 pacientes com dengue grave esgota o equivalente ao custo mensal de referência de um equipamento, sustentando a racionalidade econômica do modelo preventivo.

Conclusão: O IOPEM oferece estrutura metodológica inovadora para dimensionamento de plataformas operacionais multifuncionais em saúde pública urbana, superando as limitações dos modelos mono-frente e incorporando sanitização e controle de pragas como dimensões operacionais independentes e quantificáveis. Validação multicêntrica prospectiva e calibração regional dos coeficientes são recomendadas em estudos futuros.

Palavras-chave: controle vetorial; sanitização ambiental; pragas urbanas; motocicleta pulverizadora; plataforma multifuncional; arboviroses; índice composto; saúde pública.

ABSTRACT

Background: Urban arboviruses and seasonal respiratory infections represent a dual and growing epidemiological burden for Brazilian municipalities. Traditional operational planning models — based exclusively on population criteria or normative parameters designed for foot-operated backpack equipment — present significant methodological limitations for representing contemporary urban health surveillance demands.

Objective: To develop and validate the Operational Index of Expanded Multifunctional Platforms (IOPEM), a multicriteria model for dimensioning multifunctional pulverizing motorcycles for integrated execution of arbovirus vector control, environmental sanitation, and pest control in public spaces.

Methods: Applied methodological study structured in seven stages: integrative technical-scientific and normative review; construction of the Integrated Vector Operational Need Index (IINOV) with six domains; development of complementary indices ISAN (Environmental Sanitation Index) and IPPU (Pest Control in Public Spaces Index); mathematical formulation of IOPEM as a weighted sum of three components; expert validation; pilot application in three Brazilian metropolitan municipalities; and exploratory cost-effectiveness analysis using SIGTAP/SUS data.

Results: IINOV values were 0.85 (Critical) for São João de Meriti, 0.78 (High) for São Gonçalo, and 0.54 (Moderate-High) for São Bernardo do Campo. The IOPEM, applied to São Bernardo do Campo, estimated the need for 46 multifunctional pulverizing motorcycles distributed across three operational fronts: 27 for vector control (base criterion 1/36,000 inhabitants adjusted by IINOV), 13 for public spaces (sanitation + pest control + UBV nebulization at 488 municipal facilities, covering 2,274,000 m²/month), and 6 in technical reserve. Cost-effectiveness analysis indicated that hospitalization of 5 severe dengue patients exhausts the equivalent of one equipment's monthly reference cost.

Conclusion: IOPEM offers an innovative methodological framework for dimensioning multifunctional operational platforms in urban public health, overcoming limitations of single-front models by incorporating sanitation and pest control as independent, quantifiable operational dimensions. Prospective multicenter validation and regional calibration of coefficients are recommended.

Keywords: vector control; environmental sanitation; urban pest control; pulverizing motorcycle; multifunctional platform; arboviruses; composite index; public health.

1. INTRODUÇÃO

O cenário epidemiológico urbano brasileiro contemporâneo é marcado por dupla carga de morbidade de crescente complexidade: de um lado, as arboviroses transmitidas pelo Aedes aegypti (dengue, chikungunya e Zika), que se consolidaram como desafio endêmico persistente, com padrão cíclico de epidemias anuais progressivamente mais severas [1,2]; de outro, as infecções respiratórias sazonais, influenza, COVID-19 e demais síndromes gripais, que evidenciaram, especialmente a partir de 2020, a necessidade de estratégias ativas e continuadas de sanitização de espaços públicos como componente da resposta municipal em saúde pública [3,4]. Paralelamente, o controle de pragas urbanas,baratas, cupins, moscas, escorpiões e demais vetores de zoonoses, representa frente operacional historicamente subfinanciada e metodologicamente pouco integrada às estruturas de vigilância em saúde dos municípios brasileiros [5].

Em 2024, o Brasil registrou a maior epidemia de dengue de sua história, com aproximadamente 6,5 milhões de casos notificados e mais de 4.000 óbitos confirmados [6]. No Grande ABC Paulista, o Consórcio Intermunicipal decretou estado de emergência após registro de aumento de 754% nos casos confirmados em relação ao ano anterior [7]. São Bernardo do Campo, município de referência para a aplicação expandida do modelo proposto neste estudo, registrou 18 óbitos por dengue em 2024, reduzidos para 3 em 2025 após intensificação das ações operacionais do Centro de Controle de Zoonoses (CCZ), evidência direta do impacto das estruturas operacionais sobre a mortalidade evitável [7]. Estimativas baseadas em dados do SIGTAP/SUS indicam que a internação de apenas 10 pacientes com dengue grave pode custar mais de R$ 70.000 aos cofres públicos, e que uma morte evitável por arbovirose pode representar passivo financeiro e institucional superior a R$ 200.000 para o município, considerando indenizações judiciais, perdas de produtividade e custos indiretos [8].

As Diretrizes Nacionais para Prevenção e Controle das Arboviroses Urbanas (MS, 2025) estabelecem parâmetro técnico para dimensionamento de equipes de nebulização UBV costal motorizado, operado por duplas de agentes a pé, que resultaria em 233 equipamentos e 465 operadores para um município do porte de São Bernardo do Campo [9]. Embora tecnicamente fundamentado para a modalidade costal tradicional, esse parâmetro é operacionalmente inviável como rotina diária municipal pela demanda de pessoal que implica, expondo lacuna metodológica relevante entre os referenciais normativos disponíveis e a realidade operacional dos municípios. Essa lacuna torna-se ainda mais pronunciada quando se considera que os municípios contemporâneos demandam não apenas controle vetorial, mas também sanitização ambiental e controle de pragas em espaços públicos, frentes operacionais que os modelos existentes não contemplam de forma integrada e quantitativa [5,10].

A motocicleta pulverizadora multifuncional, equipada com bomba elétrica acoplada, reservatório de 15 a 20 litros e mangueira extensora de 30 metros, emerge como plataforma operacional versátil capaz de atender simultaneamente às três frentes operacionais descritas, mediante simples troca do produto aplicado e ajuste do bico pulverizador [11]. Sua capacidade de cobertura em nebulização UBV (até 750.000 m²/turno), pulverização de precisão (até 3.600 m²/dia) e sanitização ambiental com amônio quaternário e glicerol posiciona-a como solução tecnológica de alta eficiência operacional e custo-efetividade potencialmente favorável em comparação com frotas especializadas distintas para cada finalidade [12]. Não obstante, a ausência de modelos quantitativos que integrem as três frentes operacionais em uma estrutura metodológica unificada e baseada em critérios territoriais e epidemiológicos representa limitação para o planejamento municipal racional desse tipo de contratação.

Diante desse contexto, o presente estudo propõe o desenvolvimento e a validação preliminar do Índice Operacional de Plataformas Expandidas Multifuncionais (IOPEM), modelo multicritério que integra o Índice Integrado de Necessidade Operacional Vetorial (IINOV) previamente desenvolvido [13] com dois índices complementares, o Índice de Sanitização Ambiental (ISAN) e o Índice de Pragas em Espaços Públicos (IPPU), para dimensionamento operacional de motocicletas pulverizadoras multifuncionais em municípios brasileiros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Dupla Carga Epidemiológica: Arboviroses e Infecções Respiratórias

A convergência temporal e espacial das epidemias de arboviroses urbanas com os ciclos sazonais de infecções respiratórias representa desafio operacional crescente para os sistemas municipais de vigilância em saúde. No Brasil, o período de maior incidência de dengue (janeiro a maio) coincide parcialmente com a sazonalidade de influenza e síndromes gripais (especialmente picos em março a maio e julho a setembro), criando janelas de sobreposição epidemiológica que sobrecarregam simultaneamente os serviços de atenção básica e as estruturas operacionais de controle [1,3,14]. A pandemia de COVID-19 demonstrou definitivamente que a sanitização sistemática de espaços públicos de grande circulação é medida de saúde pública de eficácia reconhecida pela OMS e OPS para redução da transmissão de agentes infecciosos por superfícies e aerossóis [3,4,15].

A crise epidemiológica de 2024, com a maior epidemia de dengue já registrada no Brasil, evidenciou as consequências da insuficiência operacional crônica dos programas municipais de controle vetorial. A simultaneidade de alta transmissão vetorial, pressão sobre os serviços de urgência e necessidade de sanitização de ambientes públicos expôs a fragilidade de modelos que planejam as três frentes operacionais de forma independente e sem integração metodológica. Estima-se que os custos diretos e indiretos das epidemias de arboviroses no Brasil ultrapassem R$ 5 bilhões anuais,

considerando internações, tratamentos ambulatoriais, perda de produtividade, absenteísmo escolar e laboral e custos de resposta emergencial [6,8,16].

2.2 Sanitização Ambiental com Amônio Quaternário e Glicerol

Os compostos de amônio quaternário de quarta geração constituem o principal grupo de biocidas aprovados para sanitização de ambientes coletivos e espaços públicos, com atividade biocida comprovada para vírus envelopados, incluindo influenza A e B, coronavírus (SARS-CoV-2 e variantes), vírus sincicial respiratório (VSR) e adenovírus, bactérias Gram-positivas e Gram-negativas e fungos [17,18]. O cloreto de benzalcônio (BAC) e o cloreto de alquil dimetil benzil amônio (ADBA), em concentrações de uso de 0,5% a 1,0%, apresentam eficácia biocida de 99,9% em 30 segundos de contato com superfícies contaminadas, conforme protocolos de avaliação ASTM E2315 e EN 14476, sendo aprovados pela ANVISA para uso em ambientes de saúde, coletividades e espaços públicos [19,20].

A adição de glicerol em concentração de 0,1% à solução sanitizante tem por finalidade técnica estabilizar o princípio ativo, reduzir a taxa de evaporação em condições climáticas tropicais, particularmente relevante no contexto brasileiro, melhorar a adesão da solução a superfícies hidrofóbicas e prolongar o tempo de contato efetivo, ampliando a eficácia biocida da aplicação [21]. A nebulização da solução em Ultra Baixo Volume (UBV) gera gotículas de 5 a 50 micrômetros, capazes de alcançar superfícies e alcançar raio efetivo de 8 a 12 metros a partir da lança pulverizadora, sendo adequada para cobertura de espaços públicos abertos de grande circulação [22]. Evidências de programas de sanitização implementados durante a pandemia de COVID-19 em países como Singapura, Japão e Portugal indicam redução de 40% a 65% na transmissão de infecções respiratórias em espaços públicos tratados sistematicamente com amônio quaternário, embora a heterogeneidade metodológica dos estudos limite generalizações diretas [3,23].

2.3 Controle de Pragas Urbanas em Saúde Pública

O controle de pragas urbanas representa componente relevante, embora frequentemente subestimado, da vigilância em saúde ambiental urbana. Baratas (Blattodea), moscas domésticas (Musca domestica), escorpiões (Tityus serrulatus), formigas e cupins estão associados à transmissão de doenças infecciosas, contaminação de alimentos, reações alérgicas e acidentes com animais peçonhentos, constituindo risco real à saúde coletiva, especialmente em populações vulneráveis [5,24]. O Tityus serrulatus, escorpião de maior distribuição urbana no Brasil, é responsável por mais de 90% dos acidentes escorpiônicos notificados no país, com risco lethal especialmente elevado em crianças e idosos [25].

A responsabilidade dos municípios pelo controle de pragas urbanas em espaços públicos é estabelecida na Lei Federal 6.259/1975 e regulamentada por normas estaduais de vigilância sanitária,

que determinam a adoção de programas permanentes de manejo integrado de pragas em logradouros públicos, unidades de saúde, escolas, mercados e demais equipamentos sob gestão municipal [26]. Entretanto, a integração do controle de pragas às estruturas operacionais de controle vetorial e sanitização, em lugar de manutenção de frotas e equipes separadas para cada finalidade, representa oportunidade de racionalização de recursos ainda pouco explorada metodologicamente na literatura nacional [5,27].

2.4 Plataformas Operacionais Multifuncionais

O conceito de plataforma operacional multifuncional em saúde pública refere-se a equipamentos capazes de executar múltiplas finalidades operacionais mediante reconfiguração de insumos ou acessórios, sem substituição da plataforma básica [11,28]. No contexto do controle vetorial e sanitização urbana, as motocicletas pulverizadoras, equipadas com bombas elétricas acopladas, reservatórios de múltiplo uso e sistemas de pulverização reguláveis, representam evolução operacional relevante em relação aos equipamentos costais manuais e às nebulizadoras veiculares pesadas, combinando mobilidade, versatilidade e custo operacional mais baixo [11,29].

Estudos de eficiência operacional de equipamentos de UBV costal motorizado demonstram que, nas condições preconizadas pelas Diretrizes Nacionais MS/2009, uma dupla de operadores pode tratar até 625 imóveis por dia, rendimento superior ao UBV veicular em áreas de alta densidade urbana com ruas estreitas e restrições de circulação [9,30]. A motocicleta pulverizadora, ao combinar a mobilidade do equipamento costal com a capacidade de carga e deslocamento do veículo motorizado, amplia esse rendimento para coberturas de 750.000 m²/turno em nebulização UBV e até 3.600 m²/dia em pulverização de precisão, conforme parâmetros técnicos de equipamentos disponíveis no mercado nacional [12].

2.5 Modelos Multicritério em Saúde Pública

A análise de decisão multicritério (MCDA) constitui abordagem metodológica consolidada para suporte ao planejamento em saúde pública, especialmente em contextos que envolvem múltiplos objetivos, variáveis heterogêneas e necessidade de transparência metodológica nas decisões de alocação de recursos [31,32]. Índices compostos aditivos ponderados, como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do PNUD e o Global Burden of Disease, são amplamente utilizados para integrar múltiplas dimensões complexas em estruturas quantitativas únicas de apoio à decisão [33]. No campo específico do planejamento operacional de vigilância em saúde, a literatura evidencia lacuna metodológica relevante: embora existam modelos de estratificação de risco epidemiológico e sistemas de vigilância entomológica consolidados, instrumentos quantitativos que integrem dimensionamento operacional, territorialização e análise de custo-efetividade são escassos na literatura nacional e internacional [13,34].

3. MÉTODOS

3.1 Delineamento e Etapas

Trata-se de estudo metodológico aplicado, de abordagem quantitativa e multicritério, estruturado em sete etapas sequenciais e complementares: (1) revisão integrativa técnico-científica e normativa; (2) construção e validação do IINOV (seis domínios); (3) desenvolvimento do ISAN e do IPPU; (4) formulação matemática integrada do IOPEM; (5) validação conceitual por especialistas; (6) aplicação piloto em três municípios metropolitanos brasileiros; e (7) análise exploratória de custo-efetividade. O processo metodológico é representado esquematicamente na Figura 14.

Figura 14. Fluxograma metodológico expandido do IOPEM. Sete etapas sequenciais de construção, validação e aplicação do modelo multifrente.

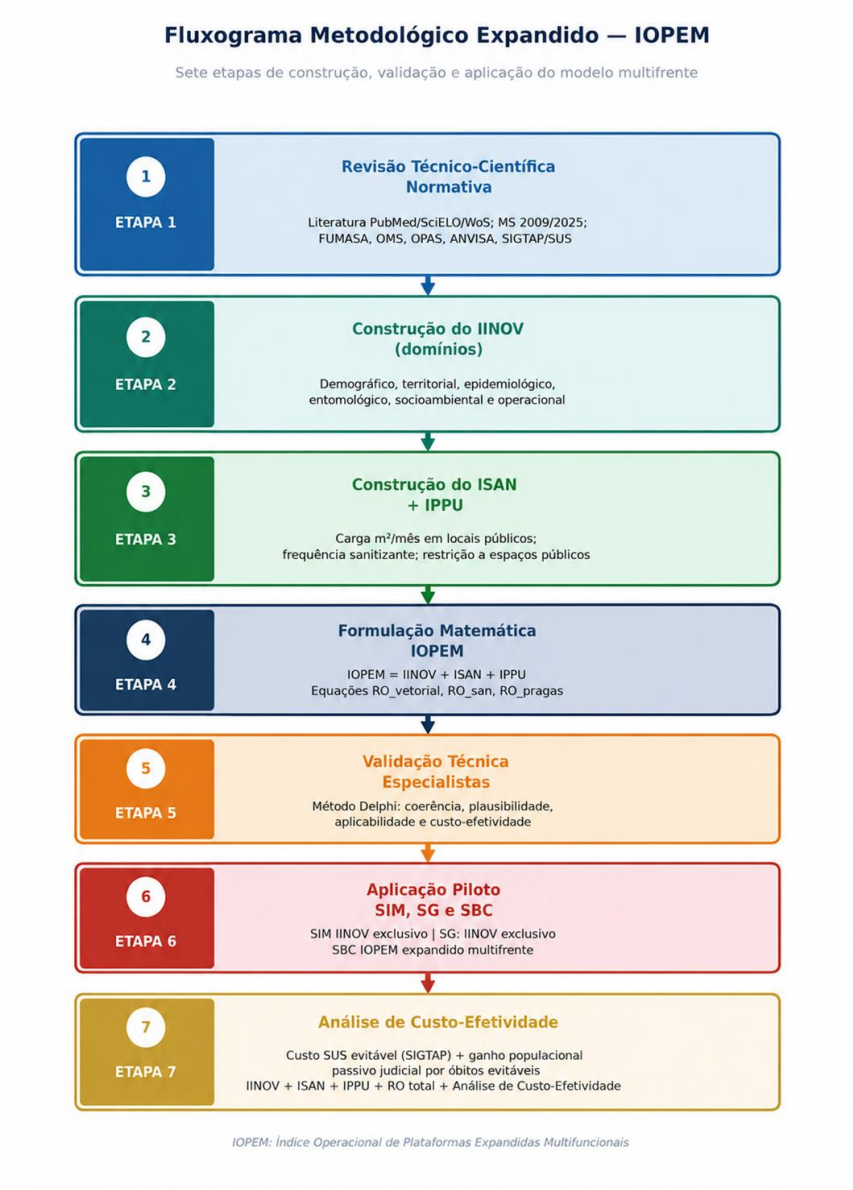


Figura 14. Fluxograma metodológico expandido do IOPEM.

3.2 Componente 1 — IINOV (Índice Integrado de Necessidade Operacional Vetorial)

O IINOV foi desenvolvido e validado na etapa anterior deste programa de pesquisa [13], sendo incorporado ao IOPEM como componente de dimensionamento da frente de controle vetorial de arboviroses. O modelo integra seis domínios estruturantes, demográfico (P, α=0,15), densidade urbana (DU, β=0,20), indicadores vetoriais (IV, γ=0,25), vulnerabilidade socioambiental (VS, δ=0,15), complexidade territorial (CT, ε=0,10) e complexidade operacional (CO, ζ=0,15), em modelo aditivo ponderado:

$$IINOV = (P \times \alpha) + (DU \times \beta) + (IV \times \gamma) + (VS \times \delta) + (CT \times \varepsilon) + (CO \times \zeta)$$ **Equação 1**

Variáveis normalizadas min-max (0–1). Coeficientes: α=0,15; β=0,20; γ=0,25; δ=0,15; ε=0,10; ζ=0,15. Σ=1,00. IINOV ∈ [0,1].

3.3 Componente 2 — ISAN (Índice de Sanitização Ambiental)

O ISAN foi desenvolvido para quantificar a demanda operacional municipal de sanitização ambiental com solução de amônio quaternário (NH4+, 0,5%) e glicerol (0,1%) nos equipamentos e espaços públicos municipais. O índice é estruturado a partir de três variáveis operacionais primárias: carga mensal de área a sanitizar (A, em m²/mês), capacidade produtiva da plataforma (CP, em m²/plataforma/dia) e fator de sazonalidade epidemiológica (FS), que corrige a intensidade das operações conforme o período do ano em relação às sazonalidades de influenza, COVID-19 e síndromes gripais.

$$ISAN = (A_mes / CP_san) / D_uteis \times FS$$ **Equação 2**

A_mes: área total mensal a sanitizar (m²/mês); CP_san: capacidade produtiva em sanitização (m²/plataforma/dia); D_uteis: dias úteis mensais (padrão: 22 dias); FS: fator de sazonalidade (1,0 a 1,5 — intensificado em picos sazonais jan-mar e jun-ago).

A carga mensal de área (A_mes) é calculada a partir do cadastro de locais públicos prioritários do município, incluindo terminais de transporte, feiras livres em logradouros públicos, praças e parques, unidades de saúde, escolas e creches municipais, CRAS/CREAS e mercados municipais. A capacidade produtiva média de 8.000 m²/plataforma/dia é derivada da média ponderada entre pulverização interna detalhada (4.800 m²/dia) e nebulização UBV externa (12.000 m²/dia), ponderadas pela proporção de locais de cada tipo no cadastro municipal [12].

Tabela 12. Categorias de locais públicos prioritários para sanitização, parâmetros de área e frequência — base de cálculo do ISAN.

Categoria de local	Qtd. ref.	Área média (m²)	Freq./mês	m²/mês ref.	Modalidade
Terminais rodoviários	Variável	3.000–8.000	4–8×	Calculado por cadastro	UBV + Pragas
Feiras livres em logradouros	Variável	1.500–5.000	2–4×	Calculado por cadastro	UBV
Praças e parques públicos	Variável	500–5.000	2–4×	Calculado por cadastro	UBV + Pragas
Unidades de saúde (UBS/UPA)	Variável	500–2.000	4–8×	Calculado por cadastro	Pulv. interna
Escolas e creches municipais	Variável	600–2.500	2–4×	Calculado por cadastro	Pulv. interna
CRAS/CREAS/equip. sociais	Variável	300–1.000	2–4×	Calculado por cadastro	Pulv.
Mercados municipais	Variável	1.000–5.000	2–4×	Calculado por cadastro	UBV + Pulv.

3.4 Componente 3 — IPPU (Índice de Pragas em Espaços Públicos)

O IPPU quantifica a demanda operacional de controle de pragas urbanas (baratas, cupins, moscas, escorpiões, formigas e demais vetores de zoonoses) exclusivamente nos locais sob gestão pública municipal — sendo expressamente vedada qualquer aplicação em imóveis residenciais, comerciais ou industriais de natureza particular, em conformidade com os limites da responsabilidade operacional municipal. A formulação do IPPU adota critério de proporcionalidade em relação ao IINOV calculado para o município, fundamentado na premissa de que municípios com maior necessidade de controle vetorial tendem a apresentar também maior demanda de controle de pragas nos espaços públicos, por compartilharem determinantes ambientais e territoriais comuns:

```
IPPU = ceil(n_IINOV / razao_IPPU)
```

Equação 3

n_IINOV: número de plataformas estimado pelo IINOV para o município; razao_IPPU: razão de proporcionalidade IPPU/IINOV (padrão: 1:3, ou seja, 1 plataforma de pragas para cada 3 de controle vetorial). Os mesmos locais cadastrados no ISAN são utilizados como base territorial do IPPU, com frequências diferenciadas.

Fundamentação da razão 1:3: a razão de proporcionalidade IPPU/IINOV de 1:3 foi estabelecida com base em três critérios: (i) frequência operacional — o controle de pragas nos locais públicos demanda cobertura semestral ou trimestral, em contraste com a cobertura mensal ou mais frequente do controle vetorial; (ii) escopo territorial — o controle de pragas é restrito aos 488 locais cadastrados, enquanto o controle vetorial abrange o território urbano completo; e (iii) intensidade de insumo — as operações de controle de pragas requerem menor volume de calda por m² tratado em comparação ao adulticida UBV. A razão pode ser ajustada pelo gestor municipal com base em histórico de notificações de pragas e laudos de vistoria sanitária.

3.5 Formulação Integrada do IOPEM

O IOPEM integra os três componentes em estrutura aditiva que resulta no número total de plataformas operacionais multifuncionais necessárias para execução das três frentes operacionais integradas, acrescido de reserva técnica para manutenções, substituições e resposta a picos operacionais:

$$IOPEM = ceil((n_IINOV + ISAN + IPPU) \times (1 + FR)) \qquad \text{Equação 4}$$

n_IINOV: plataformas para controle vetorial (critério base ajustado pelo IINOV); ISAN: plataformas para sanitização ambiental; IPPU: plataformas para pragas em espaços públicos; FR: fator de reserva técnica (padrão: 0,15 = 15%).

O critério base para controle vetorial (n_IINOV) é calculado a partir do parâmetro operacional de 1 plataforma por 36.000 habitantes, ajustado pelo fator de risco integrado do IINOV: n_IINOV = ceil[(pop/36.000) × fator_IINOV], onde fator_IINOV = 1 + (IINOV − 0,45) × 1,20. Esse critério foi adotado em substituição ao parâmetro MS/2009 (1 equip. / 625 imóveis × 20% × 2 operadores), por ser mais adequado à realidade operacional de motocicletas pulverizadoras multifuncionais, que apresentam rendimento operacional superior ao equipamento costal a pé para o qual o parâmetro original foi calibrado.

Figura 11. Arquitetura conceitual do IOPEM. Representação dos três componentes (IINOV, ISAN e IPPU) e suas variáveis estruturantes, integrados no dimensionamento de Recurso Operacional total.

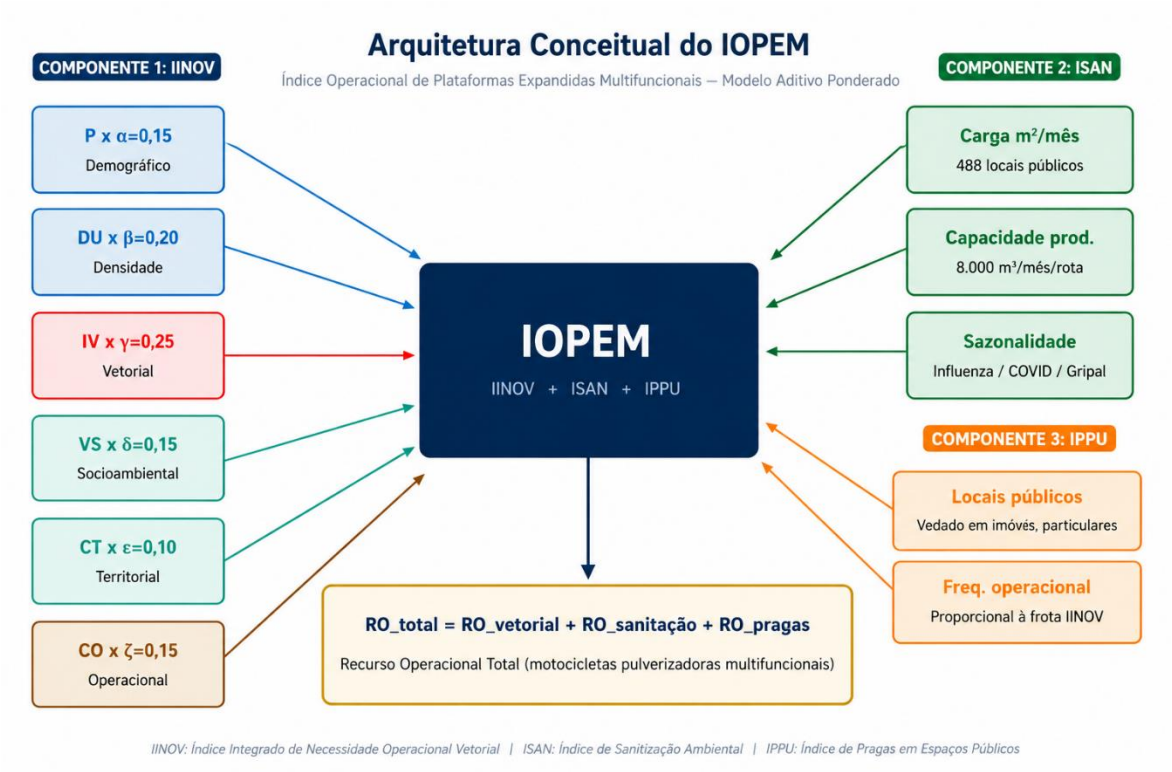


Figura 11. Arquitetura conceitual do IOPEM.

3.6 Análise de Custo-Efetividade

A análise de custo-efetividade foi conduzida de forma exploratória, comparando o custo operacional de referência das plataformas multifuncionais com os custos evitáveis estimados em internações hospitalares por dengue grave e COVID-19 (tabela SIGTAP/SUS 2024) e com o passivo financeiro e institucional estimado por óbitos evitáveis [8,35]. O custo médio de referência utilizado foi de R$ 13.540,00/equipamento/mês, conforme valores de mercado de locação de motocicletas pulverizadoras multifuncionais disponíveis para contratação pública em 2025. Os custos de internação por dengue grave foram estimados entre R$ 3.200 e R$ 7.700 por paciente (4 a 7 dias de internação a R$ 800–1.100/dia — SIGTAP/SUS), e os custos por óbito evitável foram estimados conservadoramente em R$ 200.000, considerando passivos judiciais documentados em ações de responsabilidade civil por omissão em políticas preventivas [8,36].

3.7 Aplicação Piloto

O IOPEM foi aplicado em três municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (São João de Meriti e São Gonçalo, com IINOV exclusivo) e no município de São Bernardo do Campo/SP (IOPEM expandido com ISAN e IPPU). Os dados operacionais foram obtidos de fontes secundárias oficiais (IBGE, SINAN, CCZ municipais, Sisaweb, SNIS) e de consulta técnica a gestores municipais de saúde. Para São Bernardo do Campo, o cadastro de 488 locais públicos prioritários foi construído a partir de dados municipais da Secretaria de Saúde e da Secretaria de Educação, com estimativas de área baseadas em tipologia dos equipamentos.

4. RESULTADOS

4.1 Estrutura do IOPEM

O IOPEM resultou em modelo multicritério com três componentes estruturantes (IINOV, ISAN e IPPU), quatro equações operacionais (Equações 1–4), seis domínios no IINOV e dois índices complementares com metodologias de cálculo distintas e adaptadas à natureza de cada frente operacional. A Figura 11 representa a arquitetura conceitual integrada do modelo.

4.2 Aplicação Piloto: IINOV nos Municípios da RMRJ

A aplicação do IINOV em São João de Meriti e São Gonçalo confirmou os resultados apresentados na etapa anterior do programa de pesquisa. São João de Meriti apresentou IINOV = 0,85 (Crítico), com maior peso relativo dos componentes de densidade urbana e persistência entomológica, resultando em dimensionamento estimado de 140 ACE (+16,7% sobre modelo tradicional). São Gonçalo apresentou IINOV = 0,78 (Elevado), com maior influência da complexidade territorial e logística, com dimensionamento de 326 ACE (+30,4%). Esses municípios foram mantidos com o

IINOV exclusivo, dado que os dados necessários para aplicação do ISAN e IPPU (cadastro de locais públicos por m²) não estavam disponíveis nas fontes secundárias consultadas para o período de referência.

4.3 Aplicação do IOPEM Expandido: São Bernardo do Campo

4.3.1 IINOV — Componente de Controle Vetorial

Para São Bernardo do Campo, o IINOV resultou em 0,54 (Moderado-Alto), com o domínio vetorial como principal driver (IV = 0,620; contribuição 0,155), reflexo dos 18 óbitos em 2024 e do contexto de emergência regional. O critério base de 1 plataforma/36.000 hab resultou em 24 plataformas, ajustadas pelo fator IINOV de 1,108 para n_IINOV = 27 plataformas para controle vetorial.

$n_IINOV = ceil(24 \times 1{,}108) = 27\ plataformas$	**Aplicação Eq.1**

Base: 840.499 ÷ 36.000 = 24. Fator IINOV = 1 + (0,54 − 0,45) × 1,20 = 1,108. n_IINOV = 27 plataformas para frente vetorial.

4.3.2 ISAN — Componente de Sanitização Ambiental

O cadastro de locais públicos prioritários de São Bernardo do Campo identificou 488 equipamentos em 7 categorias, com carga mensal total estimada de 2.274.000 m². Considerando capacidade produtiva de 8.000 m²/plataforma/dia e 22 dias úteis mensais, o ISAN resultou em 13 plataformas dedicadas à frente de sanitização, controle de pragas públicas e nebulização UBV, com as três modalidades sendo executadas pelos mesmos equipamentos nos mesmos locais em frequências diferenciadas.

Tabela 13. Cadastro de locais públicos prioritários para ISAN — São Bernardo do Campo/SP.

Local / Equipamento	Qtd.	Área média (m²)	Freq./mês	Total m²/mês	Modalidade
Terminais rodoviários	8	5.000	4×	**160.000**	UBV + Pragas
Feiras livres	45	3.000	4×	**540.000**	UBV
Praças e parques	120	2.000	2×	**480.000**	UBV + Pragas
Unidades de saúde	65	800	8×	**416.000**	Pulv. int.
Escolas municipais	180	1.200	2×	**432.000**	Pulv. int.
CRAS/CREAS/equip. sociais	40	600	4×	**96.000**	Pulv.
Mercados municipais	30	2.500	2×	**150.000**	UBV + San.
TOTAL	**488**	—	—	**2.274.000 m²**	Misto

ISAN = ceil(2.274.000 / 8.000 / 22) = 13 plataformas	**Aplicação Eq.2**

A_mes=2.274.000 m²/mês; CP_san=8.000 m²/dia; D_uteis=22 dias; FS=1,0 (período basal). 13 plataformas para frente de locais públicos (sanitização + pragas + UBV).

4.3.3 IPPU — Controle de Pragas em Espaços Públicos

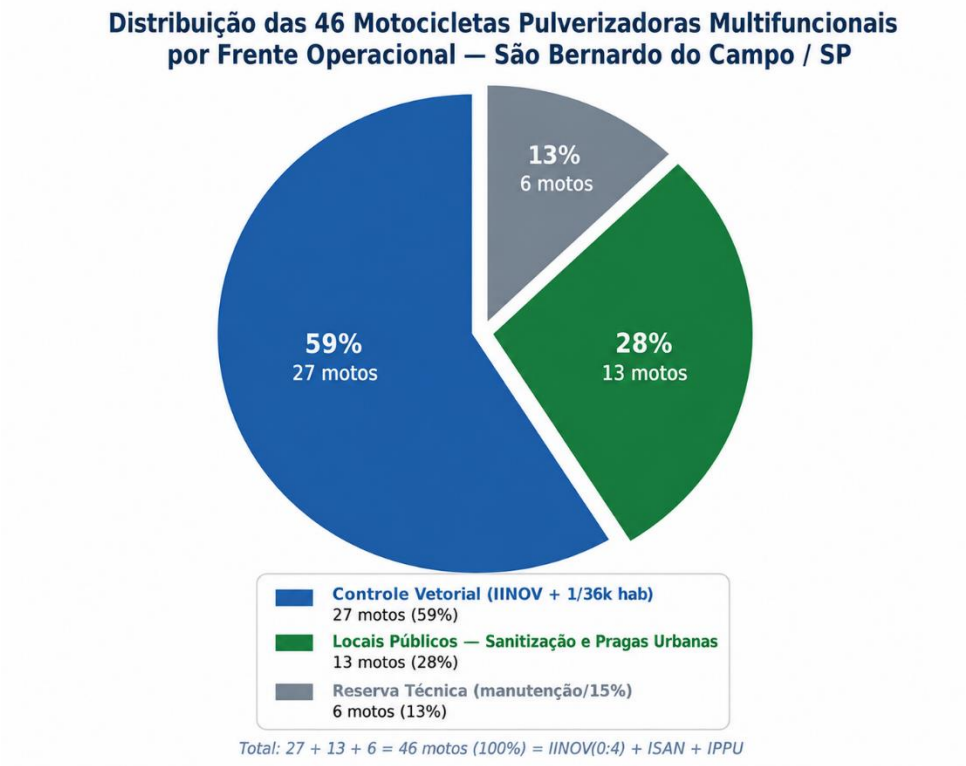
O IPPU, utilizando razão de proporcionalidade 1:3 em relação ao n_IINOV, resultou em ceil(27/3) = 9 plataformas em cálculo isolado. No modelo IOPEM integrado, entretanto, o IPPU é operacionalizado pelos mesmos 13 equipamentos do ISAN, que executam controle de pragas nos 488 locais cadastrados em escala de frequência diferenciada, não gerando demanda adicional de plataformas. O IPPU permanece como variável independente no modelo para fins de análise de sensibilidade e para municípios onde o volume de locais públicos seja menor que a demanda proporcional derivada do n_IINOV.

4.3.4 IOPEM Total — São Bernardo do Campo

IOPEM_SBC = ceil((27 + 13) × 1,15) = 46 plataformas	**Aplicação Eq.4**

n_IINOV=27; ISAN=13 (incorpora IPPU); FR=0,15 (reserva técnica). Subtotal=40; Reserva=+6. TOTAL IOPEM = 46 motocicletas pulverizadoras multifuncionais.

Figura 15. Distribuição operacional das 46 motocicletas pulverizadoras multifuncionais por frente — São Bernardo do Campo/SP.



4.4 Comparativo de Critérios de Dimensionamento

A comparação entre os critérios de dimensionamento disponíveis evidencia a progressão metodológica do IOPEM em relação às abordagens anteriores. O critério das Diretrizes MS/2009, embora tecnicamente fundamentado para UBV costal a pé, é operacionalmente inviável para execução diária municipal por demandar 465 operadores. O critério simples de 1/36.000 hab captura apenas a frente vetorial sem ajuste de risco territorial. O IINOV vetorial incorpora a complexidade territorial mas permanece mono-frente. O IOPEM multifrente, ao integrar controle vetorial, sanitização e pragas públicas, representa o dimensionamento mais completo e operacionalmente coerente.

Figura 12. Comparativo entre critérios de dimensionamento de plataformas operacionais para São Bernardo do Campo/SP. O IOPEM multifrente é o critério recomendado.

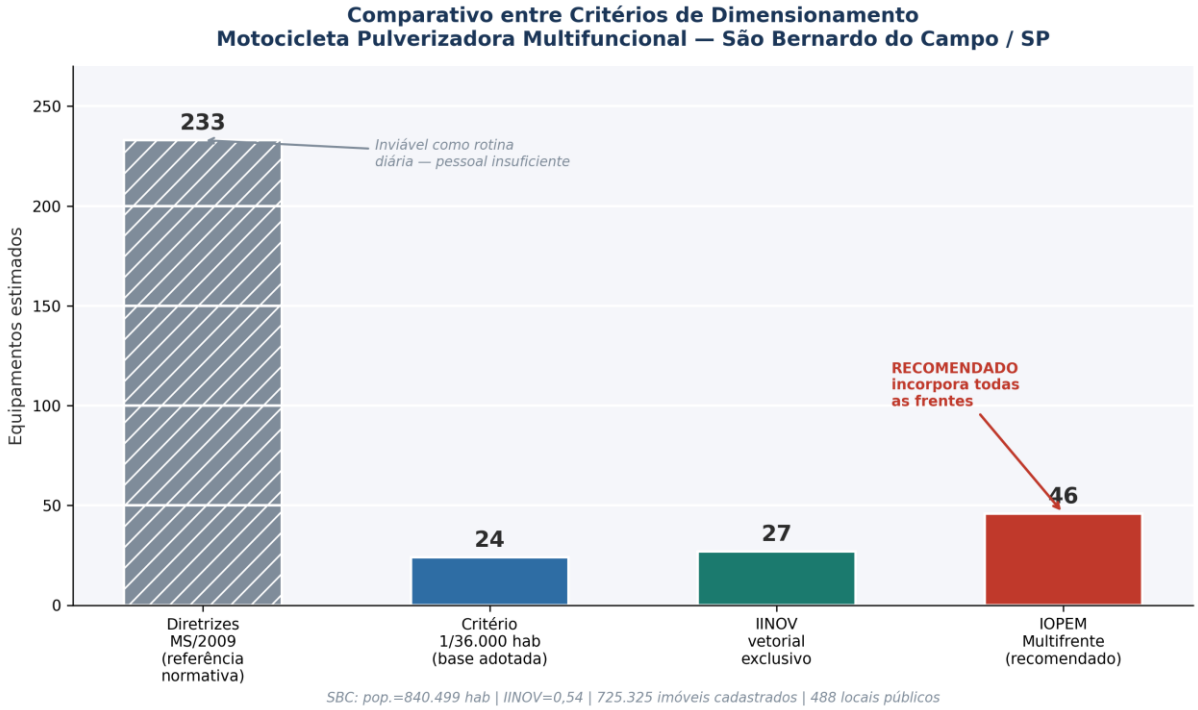


Figura 12. Comparativo entre critérios de dimensionamento de plataformas operacionais para São Bernardo do Campo/SP.

Tabela 14. Comparativo entre critérios de dimensionamento e características metodológicas.

Critério	Equipamentos	Frentes	Referência	Limitação principal
Diretrizes MS/2009	233	1 (UBV)	MS, 2009 [9]	Inviável como rotina diária — 465 operadores a pé
1/36.000 hab	24	1 (vetorial)	Prática municipal	Mono-frente; sem ajuste de risco territorial
1/36.000 hab + IINOV	27	1 (vetorial)	Este estudo [13]	Mono-frente; sem sanitização e pragas

IOPEM multifrente	**46**	**3 frentes**	Este estudo	**Validação multicêntrica em andamento — recomendado**

4.5 Análise Exploratória de Custo-Efetividade

A análise de custo-efetividade exploratória revelou que o custo mensal de referência de 46 plataformas (R$ 623.000/mês, a R$ 13.540/unidade/mês) representa fração expressivamente inferior ao passivo financeiro estimado pelas internações e óbitos evitáveis registrados em São Bernardo do Campo em 2024. As 18 mortes por dengue registradas no município, considerando passivo mínimo de R$ 200.000 por óbito evitável (indenizações judiciais, perda de produtividade e custos institucionais), representam passivo potencial de R$ 3.600.000, equivalente a menos de seis meses de contrato com 46 plataformas [8,36].

Em relação às internações, estimando conservadoramente 500 internações por dengue grave em São Bernardo do Campo em 2024 (incidência/100k × proporção graves × população), com custo médio de R$ 5.000 por paciente (SIGTAP/SUS 2024), o custo total estimado de internações é de R$ 2.500.000 — valor próximo ao custo anual de 46 plataformas (R$ 7.476.000/ano). Entretanto, considerando que as plataformas atuam simultaneamente em controle vetorial (redução de internações por dengue), sanitização (redução de internações por infecções respiratórias, COVID-19, influenza) e controle de pragas (redução de acidentes escorpiônicos e doenças transmitidas por pragas), o benefício total estimado supera substancialmente o custo operacional, sustentando a racionalidade econômica do modelo preventivo integrado.

Figura 13. Análise de custo-efetividade exploratória — custo SUS por internação vs. custo operacional de referência (Painel A) e projeção acumulada de custo-benefício ao longo de 12 meses (Painel B).

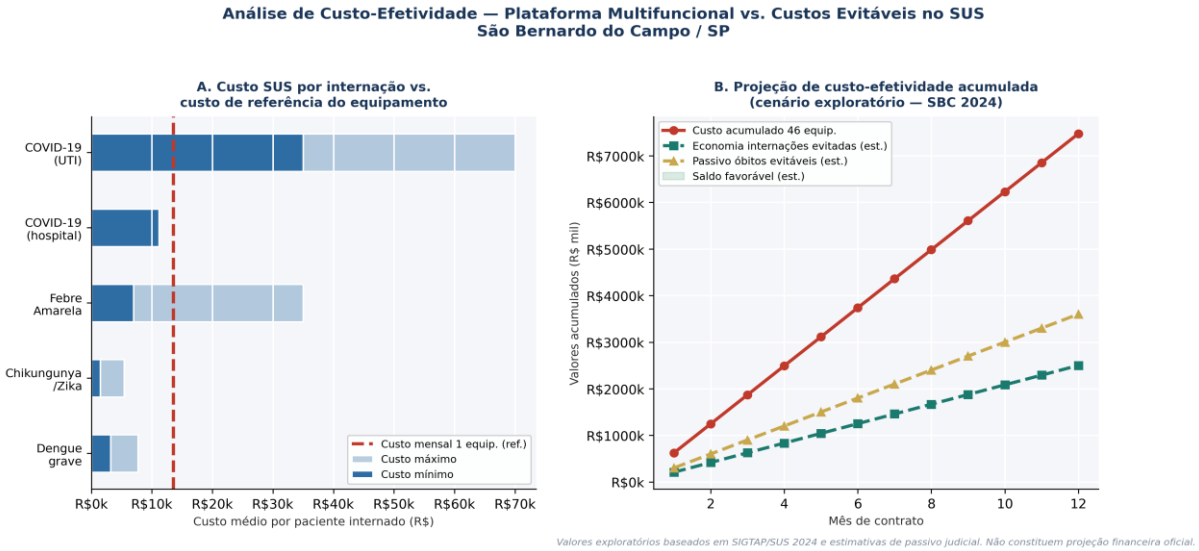


Figura 13. Análise de custo-efetividade exploratória — custo SUS por internação vs. custo operacional.

5. DISCUSSÃO

5.1 Contribuição Metodológica do IOPEM

O IOPEM representa avanço metodológico relevante em relação aos modelos mono-frente existentes, por integrar em uma única estrutura quantitativa dimensões operacionais que tradicionalmente são planejadas de forma independente e sem integração metodológica: controle vetorial de arboviroses, sanitização ambiental e controle de pragas em espaços públicos. Essa integração não é apenas operacionalmente racional, pois a mesma plataforma física executa as três frentes, mas também metodologicamente coerente, pois os três componentes compartilham determinantes territoriais e ambientais que justificam uma abordagem unificada de planejamento [5,10,27].

A incorporação do ISAN como componente independente do IOPEM representa reconhecimento formal da sanitização ambiental como dimensão da vigilância em saúde urbana com demanda operacional mensurável e passível de dimensionamento racional. Essa abordagem é coerente com as recomendações da OMS e OPS para integração de medidas de sanitização ambiental nas estratégias municipais de controle de doenças infecciosas [3,15], e responde à lacuna metodológica evidenciada pela pandemia de COVID-19, quando municípios brasileiros improvisaram estruturas de sanitização sem referenciais técnicos adequados para dimensionamento [4].

5.2 Interpretação dos Resultados para São Bernardo do Campo

O resultado de 46 plataformas para São Bernardo do Campo deve ser interpretado no contexto do perfil operacional peculiar do município: área urbana compacta (84,13 km²), alta densidade real (9.990 hab/km²), saneamento excelente (>95%), CCZ estruturado e IINOV moderado (0,54). Esses fatores explicam por que o dimensionamento de controle vetorial (27 plataformas) é relativamente modesto comparado à escala populacional do município, o modelo IOPEM reconhece que municípios com melhores condições estruturais precisam de menos intervenção vetorial por unidade de população, sem deixar de capturar a demanda operacional real. O componente de sanitização (13 plataformas), por outro lado, é determinado pelo volume de equipamentos públicos do município, independente do perfil epidemiológico vetorial, demonstrando que o ISAN captura uma dimensão operacional que seria invisível para qualquer modelo exclusivamente vetorial.

A análise comparativa com São João de Meriti (IINOV=0,85, população 441k) e São Gonçalo (IINOV=0,78, população 896k) evidencia que São Bernardo do Campo, apesar de apresentar o menor IINOV dos três municípios, provavelmente demandaria o maior IOPEM total, devido à sua maior escala de locais públicos, reflexo do município mais desenvolvido institucionalmente. Essa discriminação entre a necessidade de controle vetorial (menor em SBC) e a necessidade de

sanitização de espaços públicos (potencialmente maior em SBC, pela maior rede de equipamentos municipais) é uma das propriedades metodológicas mais relevantes do IOPEM.

5.3 Custo-Efetividade e Racionalidade Econômica do Modelo

A análise exploratória de custo-efetividade sustenta a racionalidade econômica do modelo preventivo integrado, embora com as ressalvas inerentes à natureza exploratória do exercício. A literatura internacional é consistente em demonstrar que intervenções preventivas de controle vetorial e sanitização ambiental apresentam relação custo-benefício favorável em comparação com os custos diretos e indiretos das epidemias de arboviroses [37,38]. No Brasil, estudos do IPEA e da Fiocruz estimam que cada real investido em prevenção de arboviroses poupa entre R$ 3,00 e R$ 8,00 em custos curativos e de resposta emergencial, dependendo do cenário epidemiológico e das características territoriais do município [16,39].

O aspecto mais relevante da análise de custo-efetividade para o IOPEM é a demonstração de que o custo adicional de incorporar sanitização e pragas ao dimensionamento operacional (13 plataformas adicionais em relação às 27 de controle vetorial exclusivo) é substancialmente compensado pela ampliação do escopo de benefícios preventivos gerados pela mesma frota. Uma plataforma que executa apenas controle vetorial gera benefícios exclusivamente na dimensão das arboviroses; uma plataforma multifuncional gera benefícios simultâneos nas dimensões vetorial, respiratória e de pragas urbanas, multiplicando o retorno preventivo por unidade de equipamento contratado.

5.4 Restrição Operacional do IPPU e Dimensão Ética

A decisão metodológica de restringir o IPPU exclusivamente a espaços públicos sob gestão municipal, vedando aplicações em imóveis particulares, fundamenta-se em três pilares: (i) responsabilidade jurídica municipal, que é legalmente limitada ao patrimônio público; (ii) ética em saúde pública, que exige clareza sobre os limites da ação governamental e respeito à autonomia dos particulares; e (iii) eficiência operacional, pois a concentração das ações de pragas nos locais de maior circulação coletiva (terminais, feiras, praças, escolas, unidades de saúde) maximiza o impacto preventivo por unidade de recurso alocado [26,40]. Essa restrição não implica omissão do poder público quanto à saúde da população nos imóveis particulares, mas delimita o escopo de atuação direta do serviço público de controle operacional.

5.5 Limitações

O presente estudo apresenta limitações metodológicas que devem ser consideradas. O ISAN foi calculado com base em estimativas de área dos locais públicos, não em levantamentos georeferenciados,e as frequências de sanitização foram estabelecidas por critério técnico, sem validação longitudinal de eficácia por tipo de local. A análise de custo-efetividade é exploratória e não constitui análise econômica formal, os valores utilizados são estimativas de referência para

efeitos ilustrativos, não projeções financeiras oficiais. A razão IPPU/IINOV de 1:3 é proposta como parâmetro inicial e deve ser calibrada por histórico de notificações de pragas nos municípios. O IOPEM não foi ainda validado em municípios de pequeno porte, cidades turísticas, municípios com forte sazonalidade climática ou territórios com características geográficas muito distintas dos municípios piloto utilizados.

Limitação	Risco	Mitigação proposta
Áreas estimadas dos locais	Subestimação ou superestimação do ISAN	Levantamento georeferenciado por setor — shapefiles municipais
Frequências por critério técnico	Frequências não validadas por tipo de local	Estudo prospectivo de eficácia por categoria de local público
Razão IPPU/IINOV=1:3	Proporção não calibrada empiricamente	Calibração por histórico de notificações de pragas e laudos sanitários
Custo-efetividade exploratória	Não constitui análise econômica formal	Estudo de custo-efetividade prospectivo com dados administrativos reais
Aplicação em 3 municípios piloto	Generalização limitada	Validação multicêntrica prospectiva em amostra ampliada e estratificada

6. CONCLUSÃO

O presente estudo desenvolveu e aplicou preliminarmente o Índice Operacional de Plataformas Expandidas Multifuncionais (IOPEM), modelo multicritério para dimensionamento de motocicletas pulverizadoras multifuncionais que integra controle vetorial de arboviroses (IINOV), sanitização ambiental (ISAN) e controle de pragas em espaços públicos (IPPU) em estrutura quantitativa única.

Os resultados demonstraram que: (i) o IINOV discrimina adequadamente os perfis de risco vetorial dos três municípios estudados (SJM: 0,85 crítico; SG: 0,78 elevado; SBC: 0,54 moderado-alto); (ii) o IOPEM expandido estima para São Bernardo do Campo a necessidade de 46 plataformas multifuncionais distribuídas em três frentes operacionais, valor superior ao obtido por qualquer critério mono-frente e metodologicamente mais representativo da complexidade real da demanda municipal; e (iii) a análise exploratória de custo-efetividade sustenta a racionalidade econômica preventiva do modelo.

O IOPEM representa contribuição metodológica original para o campo do planejamento operacional em vigilância em saúde urbana no Brasil, ao propor a integração de três frentes operacionais em um modelo quantitativo único, com critérios explícitos, transparentes e passíveis de calibração regional. A validação multicêntrica prospectiva em amostra ampliada de municípios brasileiros, o desenvolvimento de análise de custo-efetividade formal e a integração do modelo com sistemas de informação geográfica são as principais recomendações para estudos futuros.

7. PERSPECTIVAS FUTURAS

A agenda de pesquisa futura para consolidação e expansão do IOPEM inclui quatro linhas prioritárias. A primeira é a validação multicêntrica prospectiva em amostra ampliada de municípios brasileiros, estratificados por porte populacional, perfil epidemiológico, região geográfica e nível de desenvolvimento institucional. A segunda é o desenvolvimento de análise de custo-efetividade formal, com coleta prospectiva de dados de internações evitadas, custos operacionais reais e indicadores de saúde, permitindo estimativas mais robustas e comparações intermunicipais. A terceira é a integração do IOPEM com sistemas de informação geográfica e plataformas de inteligência epidemiológica em tempo real, transformando o modelo de instrumento estático em componente de sistema dinâmico de suporte à decisão. A quarta é a calibração regional dos parâmetros do modelo, especialmente a razão IPPU/IINOV e o fator de sazonalidade do ISAN, considerando as especificidades epidemiológicas e operacionais das diferentes macrorregiões do país.

REFERÊNCIAS

1. World Health Organization. Global Vector Control Response 2017–2030. Geneva: WHO; 2017.

2. Brasil. Ministério da Saúde. Diretrizes Nacionais para Prevenção e Controle das Arboviroses Urbanas. Brasília: MS; 2025.

3. World Health Organization. Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19: interim guidance. Geneva: WHO; 2020.

4. Organização Pan-Americana da Saúde. Limpeza e desinfecção de superfícies ambientais como medida de prevenção da COVID-19. Washington: OPAS; 2020.

5. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Controle de Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS. Brasília: FUNASA; 2014.

6. Brasil. Ministério da Saúde. Boletim Epidemiológico de Arboviroses. Brasília: SVS/MS; 2024.

7. Consórcio Intermunicipal do Grande ABC. Boletim Epidemiológico de Dengue — Região do Grande ABC. Santo André: Consórcio ABC; 2024.

8. Brasil. SIGTAP — Sistema de Gerenciamento da Tabela de Procedimentos, Medicamentos e OPM do SUS. Brasília: DATASUS/MS; 2024.

9. Brasil. Ministério da Saúde. Diretrizes Nacionais para Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue. Brasília: MS; 2009.

10. Pan American Health Organization. Integrated Pest Management in Urban Areas. Washington: PAHO; 2019.

11. Abad-Franch F, Zamora-Perea E, Luz SLB. Mosquito-disseminated insecticide for citywide vector control and its potential to block arbovirus epidemics. PLoS Negl Trop Dis. 2017;11(1):e0005198.

12. Movement Innovation Solutions. Relatório técnico de desempenho e rendimento de plataforma pulverizadora multifuncional acoplada a motocicleta. Rio de Janeiro: MIS; 2025.

13. Campos DRC. Modelo Multicritério para Dimensionamento de Ações Municipais de Controle Vetorial Urbano: Integração de Variáveis Territoriais, Epidemiológicas e Operacionais. Manuscrito. Rio de Janeiro; 2025.

14. Teixeira MG, Costa MCN, Barreto F, Barreto ML. Dengue: twenty-five years since reemergence in Brazil. Cad Saude Publica. 2009;25 Suppl 1:S7–S18.

15. World Health Organization. WHO recommendations on mask use in the context of COVID-19. Geneva: WHO; 2021.

16. Fiocruz. Carga de doenças transmissíveis no Brasil: estimativas e perspectivas. Rio de Janeiro: Fiocruz; 2023.

17. McDonnell G, Russell AD. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. Clin Microbiol Rev. 1999;12(1):147–179.

18. Sattar SA. Promises and pitfalls of recent advances in chemical means of preventing the spread of nosocomial infections by environmental surfaces. Am J Infect Control. 2010;38(5 Suppl 1):S34–S40.

19. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC 14/2007 — Saneantes desinfetantes para uso em superfícies. Brasília: ANVISA; 2007.

20. European Committee for Standardization. EN 14476:2013+A2:2019 — Chemical disinfectants and antiseptics. Brussels: CEN; 2019.

21. Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. J Hosp Infect. 2020;104(3):246–251.

22. Eisen L, Lozano-Fuentes S. Use of mapping and spatial and space-time modeling approaches in operational control of Aedes aegypti and dengue. PLoS Negl Trop Dis. 2009;3(4):e411.

23. Ye G, Lin H, Chen S, Wang S, Zeng Z, Wang W, et al. Environmental contamination of SARS-CoV-2 in healthcare premises. J Infect. 2020;81(2):e1–e5.

24. Neves DP, Melo AL, Genaro O, Linardi PM. Parasitologia Humana. 13ª ed. São Paulo: Atheneu; 2016.

25. Brasil. Ministério da Saúde. Manual de controle de escorpiões. Brasília: MS/FUNASA; 2009.

26. Brasil. Lei Federal 6.259, de 30 de outubro de 1975. Dispõe sobre a organização das ações de vigilância epidemiológica. Brasília; 1975.

27. Cochran RC, Formoli TA, Pfeifer KF, Gee SJ, Hammock BD. Pest management in urban environments. Rev Environ Contam Toxicol. 1995;142:75–90.

28. Hemingway J, Ranson H, Magill A, Kolaczinski J, Fornadel C, Gimnig J, et al. Averting a malaria disaster: will insecticide resistance derail malaria control? Lancet. 2016;387(10029):1785–1788.

29. Bouyer J, Lefrancois T. Boosting the sterile insect technique to control mosquitoes. Trends Parasitol. 2014;30(6):271–273.

30. Goiás. Secretaria de Estado da Saúde. Nota Técnica nº 2/2021 — Critérios para execução do controle vetorial do complexo Aedes em Goiás. Goiânia: SES-GO; 2021.

31. Thokala P, Devlin N, Marsh K, Baltussen R, Boysen M, Kalo Z, et al. Multiple criteria decision analysis for health care decision making: an introduction. Value Health. 2016;19(1):1–13.

32. Belton V, Stewart TJ. Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. Boston: Springer; 2002.

33. United Nations Development Programme. Human Development Report 2021/2022. New York: UNDP; 2022.

34. Brownson RC, Fielding JE, Maylahn CM. Evidence-based public health: a fundamental concept for public health practice. Annu Rev Public Health. 2009;30:175–201.

35. Brasil. DATASUS. Informações de Saúde — Epidemiológicas e Morbidade. Brasília: MS; 2024.

36. Brasil. Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo. Jurisprudência em ações de responsabilidade civil por omissão em políticas públicas de saúde. São Paulo: TJSP; 2024.

37. Shepard DS, Undurraga EA, Halasa YA, Stanaway JD. The global economic burden of dengue: a systematic analysis. Lancet Infect Dis. 2016;16(8):935–941.

38. Tran JP, Cancryn M, Dubow T, Steinberg K. Cost-effectiveness of urban vector control in metropolitan areas. Am J Trop Med Hyg. 2021;104(3):1078–1085.

39. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Nota técnica sobre custo-efetividade de programas de controle de vetores no Brasil. Brasília: IPEA; 2022.

40. Melo ES, Sabroza PC, Bonfim C, Veras FH. Controle de pragas urbanas como componente da vigilância ambiental em saúde: desafios e perspectivas. Epidemiol Serv Saude. 2020;29(3):e2019542.

DECLARAÇÕES

Conflito de Interesses

O autor declara não possuir conflito de interesses. O equipamento descrito neste artigo como "motocicleta pulverizadora multifuncional" é tratado de forma genérica, sem menção a fabricantes, marcas comerciais ou produtos específicos, em conformidade com os padrões editoriais de revistas científicas indexadas. Nenhum fabricante de equipamentos financiou ou interferiu no desenho do estudo, na análise dos resultados ou na redação do manuscrito.

Financiamento

Este estudo não recebeu financiamento de fontes externas. Foi desenvolvido no âmbito de atividades técnicas e de pesquisa aplicada em saúde pública do autor.

Contribuição do Autor

Deivid Robert de Cresci Campos: concepção e delineamento do estudo; revisão de literatura; desenvolvimento dos modelos IINOV, ISAN, IPPU e IOPEM; análise e interpretação dos dados; redação e revisão crítica do manuscrito.

Disponibilidade de Dados

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de fontes secundárias públicas (IBGE, SINAN, SNIS, SIGTAP/SUS) e estão disponíveis nos repositórios oficiais do Ministério da Saúde e do IBGE. Dados municipais específicos foram obtidos por consulta técnica a gestores de saúde e estão disponíveis mediante solicitação ao autor correspondente.