

Visualizando a Dinâmica de Infecção-Notificação da Malária na Amazônia Legal.

José E. G. da Silva Júnior, Kayo Henrique. C. Monteiro,
Patricia Takako Endo, Raphael A. Dourado

¹ Universidade de Pernambuco (UPE), Caruaru, PE, Brasil

{jose.edson,kayo.henrique,patricia.endo,raphael.dourado}@upe.br

Resumo. A malária é uma doença endêmica na Amazônia Legal e os esforços para combatê-la precisam considerar a dinâmica de infecção-notificação de casos importados — quando a notificação não ocorre no mesmo local da infecção. Esse tipo de análise pode ser facilitado por visualizações interativas de dados organizadas como dashboards. No entanto, poucos trabalhos propuseram dashboard para análise de dados de malária, e nenhum deles se concentra na análise da dinâmica de infecção-notificação dessa doença. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação de um dashboard focado na análise da dinâmica geolocalizada de infecção-notificação de malária. O dashboard foi validado por meio de casos de uso com dados reais e feedback de um especialista do domínio. Os resultados sugerem que a ferramenta é útil para encontrar padrões em dados de malária e pode ajudar as autoridades a cooperar e distribuir melhor os recursos de saúde entre municípios vizinhos.

Abstract. Malaria is an endemic disease in the Legal Amazon region and efforts to fight it need to consider the infection-notification dynamics of imported cases — when the notification does not occur in the same location of infection. This type of analysis can be facilitated by interactive data visualizations organized as dashboards. However, few works have proposed dashboards for analyzing Malaria data, and none of them focuses on the analysis of the infection-notification dynamics of this disease. This work presents the development and evaluation of a dashboard focused on analyzing the geolocalized infection-notification dynamics of Malaria. The dashboard was validated through use cases with real data and feedback from a domain expert. The results suggest that the tool is useful for finding patterns in Malaria data and can help authorities to better cooperate and distribute health resources between neighboring municipalities.

1. Introdução

A malária é uma doença causada por parasitas do gênero *Plasmodium*, transmitidos aos seres humanos pela picada de mosquitos fêmeas infectadas do gênero *Anopheles*, conhecidos como vetores da malária. Nas Américas, a incidência de malária teve um aumento de 79% entre 2015 e 2019, sendo que apenas em 2022 foram registrados 481.788 novos casos, tendo sido registrados também aumento no número de óbitos pela doença [OPAS 2024]. No Brasil, a região da Amazônia Legal é considerada uma área endêmica da doença, responsável por 99% dos casos autóctones [Brasil 2024].

Para além das estratégias atuais de combate à malária, focadas no diagnóstico, tratamento, educação, mobilização social e controle vetorial, o “Plano de ação para a

eliminação da malária 2021-2025”, elaborado pela Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) [OPAS 2022b], apresenta a Linha Estratégica 3, com foco no desenvolvimento e aprimoramento de sistemas de vigilância, monitoramento e rastreamento de casos para auxiliar na tomada de decisão. Nesse sentido, uma abordagem que tem se demonstrado efetiva em diversos domínios para suporte à decisão é o uso de ferramentas interativas de visualização de dados [Munzner 2014]. Estes sistemas, comumente apresentados no formato de painéis analíticos (*dashboards*) [Sarikaya et al. 2019], proporcionam uma forma simples e intuitiva de visualizar indicadores e permitir aos usuários explorar rapidamente bases de dados complexas, o que pode levar a *insights* [Karer et al. 2021] sobre os dados e geração ou confirmação de hipóteses, auxiliando assim na tomada de decisões informadas. No contexto específico do combate à malária, o uso de *dashboards* pode proporcionar uma análise mais detalhada das informações epidemiológicas, auxiliando, por exemplo, na identificação de áreas de maior incidência, compreensão de tendências sazonais e avaliação da eficácia das intervenções.

Porém, é importante considerar não apenas a incidência da doença em cada região, mas também a origem dos casos (região de infecção/notificação), pois a notificação e o tratamento podem ocorrer em localidades diferentes. A mobilidade de indivíduos infectados com malária apresenta desafios às campanhas de eliminação ao espalhar a resistência aos medicamentos do parasita e dificultar a coleta de dados, especialmente em países com recursos voltados à saúde limitados [Arisco et al. 2022, Mkali et al. 2021]. Na literatura, o termo “malária importada” [Arisco et al. 2022] tem sido usado para caracterizar esse contexto de mobilidade dos indivíduos infectados, porém, como não há definições espaciais específicas estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), este termo ainda não possui uma definição comum. Portanto, neste trabalho, será utilizado também o termo mais geral “dinâmica de infecção-notificação” para caracterizar o problema sob análise.

Analisar esta dinâmica de infecção-notificação entre municípios pode ajudar pesquisadores, gestores públicos e profissionais de saúde a compreenderem melhor os padrões epidemiológicos específicos dessas cidades e planejar estratégias de intervenção mais eficazes, auxiliando assim no enfrentamento da doença. Atualmente, não existem ferramentas para este fim no Brasil, e mesmo os trabalhos desenvolvidos em outros países (e.g. [Yadav and Sharma 2022, Rosewell et al. 2017]) não permitem uma análise geolocalizada da dinâmica de infecção-notificação de casos de malária. Além disso, não há na literatura uma proposta de abstração de tarefas para este problema amparada em taxonomias consolidadas, o que, de acordo com Munzner [Munzner 2014], é o primeiro passo para o desenvolvimento de sistemas de visualização efetivos.

Assim, este trabalho apresenta o processo de identificação de requisitos, desenvolvimento e avaliação de um *dashboard* interativo para auxiliar nas estratégias de prevenção e enfrentamento da malária na Amazônia Legal, com foco na visualização geolocalizada da dinâmica de infecção-notificação dos casos.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Malária

A malária é uma doença infecciosa febril aguda transmitida pela picada da fêmea do mosquito *Anopheles*, quando infectada pelo microrganismo *Plasmodium*. Existem cinco

espécies de parasitas que são responsáveis pela transmissão da malária em seres humanos, sendo que duas delas, *Plasmodium falciparum* e *Plasmodium vivax*, representam as maiores ameaças [OPAS 2024]. Esta doença ocorre principalmente nas regiões tropicais e subtropicais [Tizifa et al. 2018] e as crianças com menos de 5 anos de idade são particularmente suscetíveis à infecção em áreas com elevada transmissão da malária; mais de 70% de todas as mortes por malária ocorrem nesta faixa etária [OPAS 2024].

O combate à malária requer uma abordagem abrangente que engloba diversas estratégias. O uso de redes mosquiteiras tratadas com inseticida e a pulverização residual interna demonstraram ser especialmente eficientes na redução da incidência e prevalência da malária, sobretudo na África Subsaariana [Tizifa et al. 2018]. Porém, além das abordagens convencionais, a integração de tecnologias no monitoramento de áreas vulneráveis se destaca como uma estratégia promissora [OPAS 2022a]. O estudo de Braz e Barcellos [Braz and Barcellos 2018], por exemplo, destaca que análises de informações rotineiras, potencializadas pela tecnologia, podem auxiliar gestores na identificação oportuna de epidemias e indicadores, contribuindo efetivamente para a redução da incidência da malária nos municípios da região amazônica brasileira.

2.2. Visualização de Dados e Dashboards

A representação visual de dados, objeto de estudo da área de pesquisa em Visualização de Dados, desempenha um papel importante na análise e na comunicação de informações complexas, permitindo que os usuários compreendam rapidamente padrões e tendências em conjuntos de dados extensos graças à alta capacidade de processamento paralelo do sistema visual humano [Munzner 2014]. A compreensão desses padrões pode levar a *insights* [Karer et al. 2021] sobre os dados e auxiliar no processo de tomada de decisões.

Em sistemas de apoio à decisão, é comum o uso de visualizações de dados no formato de painéis analíticos, ou *dashboards*. Conforme discutido por Sarikaya et al. [Sarikaya et al. 2019], uma das definições possíveis para *dashboard* seria *uma tela única que contém gráficos, tabelas, medidores e outros elementos visuais que apresentam informações sobre um determinado assunto de maneira concisa e fácil de entender*.

Na área da saúde, os *dashboards* desempenham um papel importante na interpretação e gestão de dados clínicos, epidemiológicos e operacionais. Como destacado por Zhuang, Concannon & Manley [Zhuang et al. 2022], estas ferramentas podem fornecer uma representação acessível e concisa de informações complexas como registros eletrônicos de saúde individuais, que podem conter uma grande quantidade de características e mudanças longitudinais, bem como analisar surtos de doenças ou até mesmo dados de sequenciamento do genoma viral.

2.3. Representação Visual de Dados Epidemiológicos

Na epidemiologia, é comum o uso de visualizações geográficas (mapas) como suporte à tomada de decisões [Wei et al. 2020]. Um tipo especial de visualização geográfica são as redes geoespaciais (*geospatial networks*) [Schöttler et al. 2021], úteis quando se deseja analisar as relações entre nós geograficamente distribuídos e conectados por alguma relação, podendo portanto ser modelado como um grafo [Carroll et al. 2014]. Segundo Schöttler et al. [Schöttler et al. 2021], as redes geoespaciais podem ter arestas (*links*) de alta ou baixa continuidade; no primeiro caso, a trajetória completa entre origem e destino

é conhecida, enquanto no segundo apenas os pontos inicial e final são registrados. Para o contexto deste estudo, emprega-se a abordagem de baixa continuidade, pois os dados disponíveis incluem apenas os locais de notificação e infecção dos casos de malária, sem detalhamento das trajetórias individuais.

No entanto, há também situações onde é necessário representar múltiplas variáveis associadas aos nós de uma rede geoespacial. Nestes casos, é comum o uso de mapas de símbolos (*symbol maps* [Munzner 2014]), nos quais o tamanho, forma e cor do símbolo podem ser utilizados para codificar atributos. Um exemplo é o gráfico de bolhas, abordagem utilizada em muitos *dashboards* desenvolvidos para monitoramento da epidemia de COVID-19, como o JHU CSSE COVID-19 Dash [Dong et al. 2022].

Por fim, uma outra representação gráfica utilizada na epidemiologia é o gráfico de linhas [Carroll et al. 2014], recomendado para demonstrar a evolução ou tendência de métricas ao longo do tempo [Munzner 2014]. Para doenças endêmicas, um tipo especial de gráfico de linhas é especialmente útil: o canal (ou corredor) endêmico. Neste gráfico, são mostrados tanto os índices esperados de incidência da doença em cada período quanto os observados no período sob análise, auxiliando assim na identificação de epidemias.

3. Trabalhos Relacionados

O NIMR-MDB (*National Institute of Malaria Research - Malaria DataBase*) [Yadav and Sharma 2022] permite o monitoramento de parâmetros como a Taxa de Positividade do *Slide* (SPR), a Incidência Anual de Parasitas (API) e a Incidência Anual de *Falciparum* (AFI) em diferentes níveis de granularidade, desde o nacional até o distrital. No entanto, sua aplicação é restrita ao contexto indiano e não permite investigar a dinâmica espacial da transmissão da doença.

Outra iniciativa é o sistema eNHIS (*Electronic National Health Information System*) [Rosewell et al. 2017], utilizado em Papua Nova Guiné. A ferramenta inclui um *dashboard* com uma visão geolocalizada dos casos utilizando gráficos de bolhas e mapas de calor, porém, assim como o trabalho anterior, não permite a análise da dinâmica de infecções e notificações, algo que é essencial para a realidade da Amazônia Legal, onde as discrepâncias das infraestruturas dos sistemas de saúde em cada localidade são consideráveis, o que torna comum a notificação de casos em outros municípios.

No Brasil, o Ministério da Saúde disponibiliza boletins interativos de dados de malária no país¹, desenvolvidos na plataforma Tableau. Porém, estes boletins apresentam em gráficos apenas informações de totalização de casos no país, por estado, e casos oriundos de outros países; os dados por município estão disponíveis apenas em tabelas interativas, o que aumenta o esforço de análise. Ainda no contexto do Brasil, Morais *et al.* [Morais et al. 2021] propõem o Malaria Trigram, uma ferramenta de visualização infográfica para aprimorar a vigilância da malária em nível individual ao longo do tempo. Porém, estas ferramentas também não permitem visualizar geograficamente a dinâmica de infecção e notificação de casos de malária.

¹<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/m/malaria/situacao-epidemiologica-da-malaria>

4. Metodologia

O método utilizado neste estudo está amparado no paradigma do *Design Science Research* [Ken Peffers and Chatterjee 2007], que defende a possibilidade de construção de conhecimento científico a partir da prototipação, desenvolvimento e avaliação de artefatos. Alinhado a este paradigma, foi escolhido o *framework* proposto por Munzner [Munzner 2014] para desenvolvimento de sistemas de visualização de dados, denominado *Nested Model*, o qual é composto por quatro etapas iterativas, descritas a seguir.

Na primeira etapa, **Caracterização do Domínio**, o objetivo é compreender os dados gerados e as tarefas analíticas em um determinado domínio. Neste estudo, foram realizadas reuniões periódicas com dois *stakeholders* do projeto (pesquisadores que atuam em iniciativas de combate à malária) com o objetivo de compreender suas necessidades e expectativas. Foi definido também o escopo do estudo como casos na Amazônia Legal, focando na malária importada localmente [Arisco et al. 2022]. Após esta definição, foi realizada a seleção e organização dos dados utilizados no projeto, provenientes do Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica (SIVEP-Malaria)². A base de dados inicial continha 1.267.051 registros, abrangendo o período de 2003 a 2022. Esta base foi tratada para incorporar as coordenadas geográficas dos municípios e ajustar a granularidade temporal para garantir boa performance nos algoritmos.

Na segunda etapa, **Abstração de Tarefas e Dados**, deve ser realizado o mapeamento (abstração) dos dados e tarefas específicas do domínio ao vocabulário da área de visualização de dados. Assim, os atributos identificados foram categorizados conforme proposto em [Munzner 2014] e as tarefas analíticas foram mapeadas à taxonomia de Shneiderman [Shneiderman 2003].

Na terceira etapa, **Projeto de Codificação Visual e Interatividade**, são definidas as representações (codificações) visuais que serão utilizadas para representar graficamente os dados, bem como as técnicas de interatividade (filtragem, seleção, *highlight*, zoom, etc.) adequadas. Neste estudo, a escolha e refinamento das representações visuais e técnicas de interação foram feitas de forma iterativa ao longo das reuniões com os *stakeholders* do projeto. As codificações finais serão apresentadas na Subseção 5.2.

Por fim, na última etapa, **Implementação**, são desenvolvidos os algoritmos para suportar eficientemente as técnicas de codificação visual e interatividade escolhidas. Neste estudo, foi utilizado para tal o *framework Plotly Dash*³, que fornece uma grande variedade de codificações visuais e permite a criação de *dashboards* interativos como sistemas *web* utilizando a linguagem de programação Python.

Ao final da última etapa, foi realizada a validação da ferramenta desenvolvida utilizando duas estratégias. Inicialmente, a equipe de pesquisa utilizou o *dashboard* com a base de dados real do projeto para verificar a capacidade da ferramenta de fornecer *insights* sobre os dados. Em seguida, foi realizada uma avaliação com um especialista do domínio seguindo o proposto em Lam *et al.* [Lam et al. 2011]. Um biólogo, doutor em medicina tropical e especialista em malária, participou remotamente desta etapa, conduzida remotamente via Google Meet. Após ser informado sobre os objetivos do projeto e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), foi apresentado

²http://200.214.130.44/sivep/_malaria/

³<http://dash.plotly.com>

ao participante as principais funcionalidades da ferramenta e enviado o link para acesso à plataforma. O participante compartilhou sua percepção verbalmente, destacando aspectos positivos, casos de uso e sugestões de melhoria, os quais foram registradas em notas de campo.

5. Resultados

5.1. Requisitos identificados (tarefas de domínio)

A Tabela 1 descreve as tarefas de domínio identificadas durante as reuniões com *stakeholders* e suas respectivas equivalências com tarefas abstratas propostas por [Shneiderman 2003] para sistemas de visualização. A partir destes requisitos, foi implementado um conjunto de visualizações, descritas a seguir.

Tabela 1. Tarefas identificadas e relação com taxonomia de [Shneiderman 2003].

ID	Tarefa de Domínio	Tarefas Abstratas
1	Analisar, de forma geolocalizada, as relações entre notificação e infecção de casos de malária entre municípios	Overview, Relate
2	Identificar e comparar os municípios com maiores índices de notificações e infecções	Overview, Relate
3	Filtragem temporal para analisar períodos específicos	Filter
4	Análise detalhada dos indicadores de um município	Zoom, Details-on-demand
5	Permitir analisar separadamente as infecções de origem externa a um município (malária importada)	Filter
6	Visualização da evolução temporal de notificações	Overview

5.2. Dashboard

A Figura 1 mostra a interface da ferramenta desenvolvida neste estudo. O *dashboard* inclui quatro elementos: uma barra de filtros (Figura 1 (A)); um gráfico de bolhas geolocalizado (Figura 1 (B)), que atende às tarefas 1-5; um gráfico de barras (Figura 1 (C)), que atende às tarefas 2 e 5; e um gráfico de canal endêmico, na parte inferior (Figura 1 (D)), atendendo às tarefas 3 e 6. O restante desta subseção descreve em detalhes cada uma destas codificações visuais.

O gráfico de bolhas (Figura 1 (B)) mostra as notificações de malária por município, onde o tamanho das bolhas reflete a quantidade de notificações. As bolhas possuem opacidade reduzida para lidar com a sobreposição de elementos visuais, o que também ajuda a evidenciar as áreas mais impactadas pela malária, que são preenchidas com tons de azul mais escuros.

Já o gráfico de barras (Figura 1 (C)) fornece uma representação do número de infecções por município, em ordem decrescente, auxiliando assim na tarefa de identificar e comparar o(s) município(s) com maior número de infecções. Por fim, o gráfico de canal endêmico (Figura 1 (D)) apresenta a distribuição esperada da ocorrência de casos de uma doença endêmica ao longo do ano, calculada com base no comportamento observado durante anos anteriores. O canal endêmico é composto por dois limites principais: limite superior, representando a frequência máxima esperada, o limite inferior, que representa a frequência mínima de casos esperados (ambos calculados a partir de uma série histórica de dados) e uma terceira linha que representa os casos observados no período sob análise,

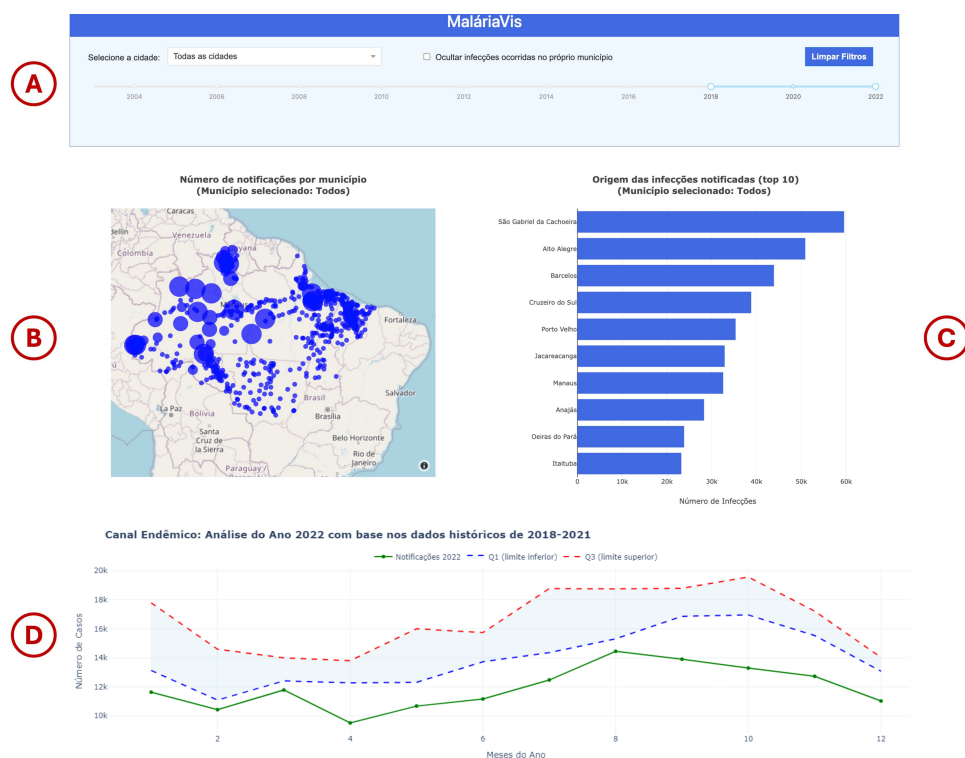


Figura 1. Dashboard desenvolvido, composto por quatro elementos: (A) barra de filtros, (B) gráfico de bolhas geolocalizado representando as notificações, (C) gráfico de barras representando infecções, e (D) canal endêmico.

permitindo identificar rapidamente se os casos estão dentro do esperado ou não. Quando essa terceira linha ultrapassa o limite superior do canal, há um indício de que, naquele ponto específico, ocorreu uma epidemia.

O *dashboar*d oferece também diversos recursos de interatividade. Na parte superior (Figura 1 (A)), a barra de filtros permite selecionar um único município para uma análise mais detalhada, além de opções para ocultar infecções ocorridas no próprio município e selecionar um período de tempo específico. A seleção de um município pode ser realizada também clicando na bolha correspondente ao município no mapa, o que ajusta a visualização para destacar este município e cria arestas conectando-o aos outros municípios que “exportaram” casos para ele, como mostrado na Figura 2. Assim, o gráfico de bolhas se transforma em um grafo sobreposto ao mapa, proporcionando uma visão da dinâmica de infecção-notificação entre municípios. Um círculo azul representa o município selecionado (onde os casos foram notificados) e círculos verdes representam os municípios onde as infecções ocorreram. O gráfico de barras também se ajusta quando este filtro é aplicado, listando apenas os municípios de origem das infecções notificadas na localidade selecionada.

Por fim, a opção de ocultar as notificações cuja infecção ocorreu no próprio município (caixa de seleção “Ocultar infecções do próprio município”) permite uma análise focada nos casos de malária importada. Ao aplicar este filtro, os três gráficos são atualizados para que infecções ocorridas no próprio município sejam desconsideradas, o que facilita a identificação e comparação da origem de casos “externos”, como pode ser ob-

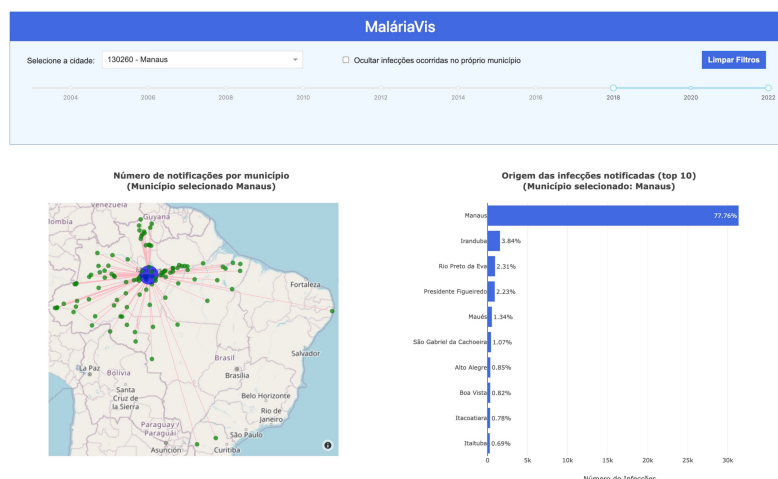


Figura 2. Filtragem por município: o gráfico de bolhas se torna um grafo para representar a origem das infecções notificadas no município selecionado.

servado na Figura 3, onde os gráficos de bolhas e barras apresentam uma distribuição dos dados diferente do mostrado na Figura 1, evidenciando os municípios que mais notificam casos externos e os municípios com maior número de infecções, respectivamente.

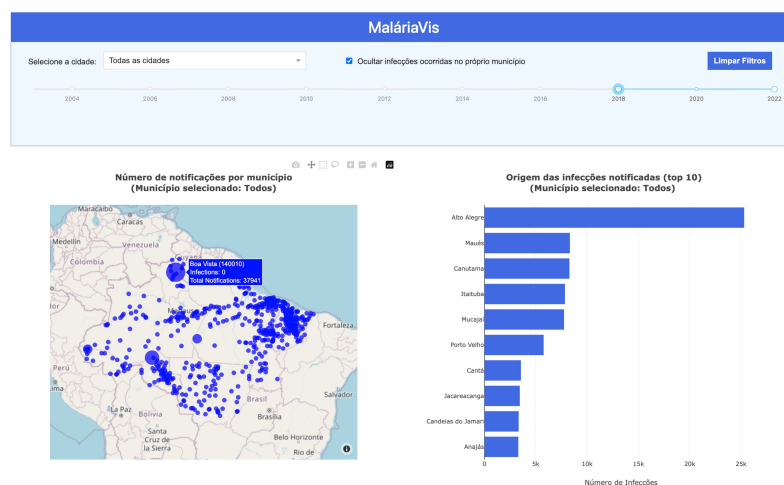


Figura 3. Dashboard com opção de mostrar apenas casos importados ativada.

5.3. Validação

Conforme descrito na Seção 4, foram conduzidas duas etapas de validação da ferramenta desenvolvida: utilização do *dashboard* para analisar uma base de dados real e *feedback* de um especialista. As próximas subseções descrevem os resultados obtidos nessas etapas.

5.3.1. Insights obtidos a partir de uma base de dados real

Uma primeira *insight* obtida com a utilização da ferramenta para análise da base SIVEP-Malária (2003-2022) é ilustrada na Figura 3. Ao selecionar a opção “*Ocultar infecções ocorridas no próprio município*” e analisar o período de 2018-2022, é possível notar

no gráfico de bolhas (à esquerda) que Boa Vista (RR) é o município que mais notifica infecções oriundas de outros locais. Além disso, é possível observar também, a partir do gráfico de barras (à direita), que Alto Alegre é o município com o maior número de infecções.

Ao selecionar o município de Boa Vista (RR) para uma análise mais detalhada (Figura 4), é possível observar no mapa à esquerda que casos de diversos outros municípios (incluindo municípios de outros estados) foram notificados em Boa Vista. Analisando a origem dos casos notificados no gráfico de barras à direita, chega-se à conclusão de que quase 90% dos mesmos são oriundos de infecções ocorridas em outros quatro municípios (Alto Alegre, Mucajaí, Amajari e Cantá) e apenas 3.77% são oriundos de infecções ocorridas no próprio município. Esta informação poderia ser utilizada pelos gestores de saúde para melhorar o planejamento e solicitação de recursos para os serviços de saúde de Boa Vista e demais municípios envolvidos.

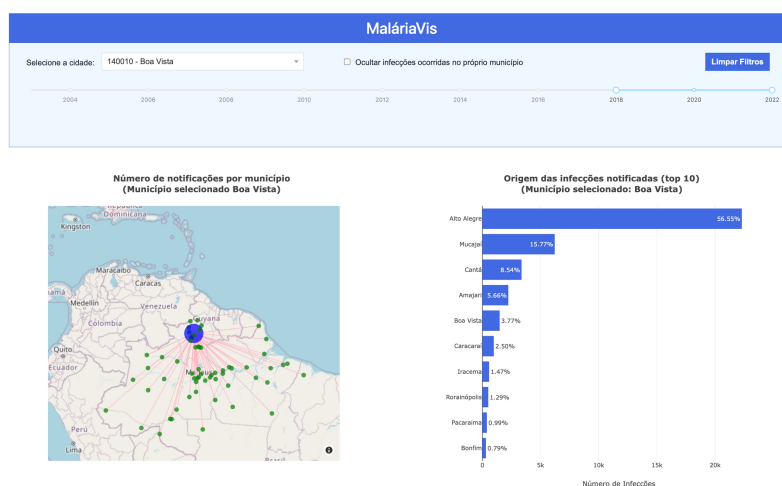


Figura 4. Análise dos casos em Boa Vista, 2018-2022. A maioria dos casos notificados são originários de outros municípios, principalmente Alto Alegre.

Já ao analisar o caso de Manaus (AM), um dos municípios com maior número de notificações, chega-se a uma conclusão diferente. Como pode ser visto na Figura 2, apesar da cidade registrar notificações de diversos municípios do Amazonas e de outros estados do Brasil no período de 2018-2022 (vide grafo geolocalizado), 77% dos casos notificados são originários de infecções ocorridas no próprio município, como mostrado no gráfico de barras à direita da figura. Esse padrão pode ser atribuído ao fato de Manaus ser um importante centro urbano, com grande fluxo de pessoas vindas de diversas regiões do país, porém com uma dinâmica de infecções majoritariamente locais.

5.3.2. *Feedback de especialista*

O especialista entrevistado avaliou positivamente a ferramenta, destacando sua interface simples e esteticamente agradável, além de seu potencial para auxiliar gestores de saúde e pesquisadores. A ferramenta foi considerada útil para identificar infecções provenientes de municípios vizinhos, contribuindo para o planejamento de recursos e a colaboração intermunicipal. Além disso, foi destacado que essa informação é relevante para a alocação

de recursos, uma vez que o município que faz a notificação é o responsável pelo tratamento, diagnóstico e desembolso de recursos. Nestes casos, se o município está tratando muitos casos oriundos de um município vizinho, os gestores municipais podem se reunir nas chamadas Comissões Intergestores Bipartite (CIB) para negociar a transferência de recursos, otimizando assim a cooperação entre as cidades e o uso dos recursos.

Dentre os pontos de melhoria, uma das recomendações foi a adoção mais efetiva do sistema “pessoa-tempo-lugar”[Lilienfeld and Stolley 1994], muito utilizado na epidemiologia, para guiar a construção da interface. Na dimensão “pessoa”, destaca-se a importância de incluir informações demográficas como gênero e faixa etária. Com relação às dimensões “lugar” e “tempo”, estas já estão contempladas na ferramenta na visualização geográfica e gráfico de canal endêmico.

6. Discussão

Com relação às implicações práticas da ferramenta proposta, os resultados apresentados neste trabalho sugerem que a mesma pode ser especialmente útil para gestores de saúde, uma vez que permite a análise de dados para uma resposta mais direcionada aos surtos de malária, de forma geolocalizada. Foi identificado também o potencial da ferramenta para fomentar a cooperação entre gestores de diferentes municípios, oferecendo a oportunidade de coordenarem suas ações, otimizando a distribuição de recursos e implementando estratégias de controle de forma mais integrada e eficaz. Além disso, a adoção de *dashboards* interativos como o proposto neste trabalho pode influenciar as políticas de monitoramento e controle não apenas de malária, mas também de outras doenças infecciosas, levando governos e organizações de saúde a adotar de forma mais abrangente essa tecnologia para melhorar a vigilância epidemiológica.

Apesar dos benefícios identificados, a implementação de políticas públicas baseadas em novas tecnologias, como o *dashboard* proposto neste trabalho, pode enfrentar alguns desafios. Por exemplo, muitos municípios na Amazônia Legal podem carecer da infraestrutura tecnológica mínima necessária para a utilização da ferramenta. A falta de recursos, incluindo acesso à internet e dispositivos adequados, pode limitar a adoção da ferramenta e atualização dos dados, apesar do *dashboard* proposto ser capaz de funcionar sem conexão com a internet. Além disso, a manutenção contínua da ferramenta é essencial para garantir a atualização dos dados, exigindo um compromisso a médio-longo prazo de recursos financeiros e humanos. Para garantir a continuidade e a sustentabilidade dessas iniciativas em meio a trocas de governo, é essencial buscar um compromisso bipartidário para estabelecer acordos que assegurem a continuidade dos programas de monitoramento da malária, independentemente de mudanças no governo.

7. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foram apresentados resultados do processo de desenvolvimento e validação de um *dashboard* para análise de casos de malária na Amazônia Legal, com foco na identificação da dinâmica de infecção-notificação entre municípios. A metodologia adotada seguiu as etapas propostas no *Nested Model* [Munzner 2014] e duas etapas de validação foram conduzidas: a primeira com o uso da ferramenta para extrair *insights* de uma base de dados real e a segunda por meio de *feedback* de especialista. Os resultados obtidos nestas etapas sugerem que o *dashboard* pode ser útil para analisar a dinâmica de

infecção-notificação de casos de malária bem como facilitar a cooperação e distribuição de recursos entre municípios, auxiliando o trabalho de gestores de saúde.

Dentre as limitações do trabalho, pode-se destacar a ausência de uma validação mais robusta da ferramenta com potenciais usuários finais, como pesquisadores e gestores de saúde. Como trabalhos futuros, pretende-se implementar as melhorias sugeridas durante a avaliação com especialista e realizar uma avaliação de usabilidade com potenciais usuários da ferramenta, de forma a validar os níveis mais externos do *Nested Model*, conforme recomendado em [Munzner 2014]. Também planeja-se implementar um forma de visualizar os tipos de infecção e notificação das classes (a) importação transfronteiriça internacional e (b) importação transnacional internacional, conforme definido por Arisco *et al.* [Arisco et al. 2022]. Esses casos são importantes, especialmente para o Brasil, visto sua grande área de fronteira com outros países da América Latina.

Referências

- Arisco, N. J., Peterka, C., and Castro, M. C. (2022). Imported malaria definition and minimum data for surveillance. *Scientific Reports*, 12(1):17982.
- Brasil (2024). Ministério da saúde. situação epidemiológica da malária. <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/m/malaria/situacao-epidemiologica-da-malaria>.
- Braz, R. M. and Barcellos, C. (2018). Análise do processo de eliminação da transmissão da malária na Amazônia brasileira com abordagem espacial da variação da incidência da doença em 2016*. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 27(3).
- Carroll, L. N., Au, A. P., Detwiler, L. T., Fu, T.-c., Painter, I. S., and Abernethy, N. F. (2014). Visualization and analytics tools for infectious disease epidemiology: a systematic review. *Journal of biomedical informatics*, 51:287–298.
- Dong, E., Ratcliff, J., Goyea, T. D., Katz, A., Lau, R., Ng, T. K., Garcia, B., Bolt, E., Prata, S., Zhang, D., Murray, R. C., Blake, M. R., Du, H., Ganjkanloo, F., Ahmadi, F., Williams, J., Choudhury, S., and Gardner, L. M. (2022). The Johns Hopkins University Center for Systems Science and Engineering COVID-19 Dashboard: data collection process, challenges faced, and lessons learned. *The Lancet Infectious Diseases*, 22(12):e370–e376.
- Karer, B., Hagen, H., and Lehmann, D. J. (2021). Insight Beyond Numbers: The Impact of Qualitative Factors on Visual Data Analysis. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 27(2):1011–1021.
- Ken Peffers, Tuure Tuunanen, M. A. R. and Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3):45–77.
- Lam, H., Bertini, E., Isenberg, P., Plaisant, C., and Carpendale, S. (2011). Empirical studies in information visualization: Seven scenarios. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 18(9):1520–1536.
- Lilienfeld, D. E. and Stolley, P. D. (1994). *Foundations of epidemiology*. Oxford University Press, USA.

- Mkali, H. R., Reaves, E. J., Lalji, S. M., Al-Mafazy, A.-W., Joseph, J. J., Ali, A. S., Abbas, F. B., Ali, M. H., Hassan, W. S., Kitojo, C., et al. (2021). Risk factors associated with malaria infection identified through reactive case detection in zanzibar, 2012–2019. *Malaria Journal*, 20(1):485.
- Morais, C. M., de Carvalho Monteiro, K. H., Brito-Sousa, J. D., Monteiro, W. M., Sampaio, V. S., Endo, P. T., and Kelner, J. (2021). Malaria trigram: improving the visualization of recurrence data for malaria elimination. *Malaria Journal*, 20:1–12.
- Munzner, T. (2014). *Visualization analysis & design*. AK Peters/CRC Press, New York. OCLC: 904266418.
- OPAS (2022a). Organização Pan-Americana da Saúde. Dia Mundial de Luta Contra a Malária. <https://www.paho.org/pt/noticias/25-4-2022-dia-mundial-luta-contramalaria-mais-deve-ser-feito-para-melhorar-resposta>.
- OPAS (2022b). Organização Pan-Americana da Saúde. Plano de ação para a eliminação da malária 2021-2025. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56860/OPASCDEVT220005_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- OPAS (2024). Organização Pan-Americana de Saúde - Malária. <https://www.paho.org/pt/topicos/malaria>.
- Rosewell, A., Makita, L., Muscatello, D., John, L. N., Bieb, S., Hutton, R., Ramamurthy, S., and Shearman, P. (2017). Health information system strengthening and malaria elimination in Papua New Guinea. *Malaria Journal*, 16:278.
- Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., and Fisher, D. (2019). What Do We Talk About When We Talk About Dashboards? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25(1):682–692.
- Schöttler, S., Yang, Y., Pfister, H., and Bach, B. (2021). Visualizing and interacting with geospatial networks: A survey and design space. *Computer Graphics Forum*, 40(6):5–33.
- Shneiderman, B. (2003). The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. In Bederson, B. B. and Shneiderman, B., editors, *The Craft of Information Visualization*, Interactive Technologies, pages 364–371. Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Tizifa, T., Kabaghe, A., McCann, R., van den Berg, H., Vugt, M., and Phiri, K. (2018). Prevention efforts for malaria. *Current Tropical Medicine Reports*, 5.
- Wei, L. L. Y., Ibrahim, A. A. A., Nisar, K., Ismail, Z. I. A., and Welch, I. (2020). Survey on geographic visual display techniques in epidemiology: Taxonomy and characterization. *Journal of Industrial Information Integration*, 18:100139.
- Yadav, C. P. and Sharma, A. (2022). National institute of malaria research-malaria dashboard (NIMR-MDB): A digital platform for analysis and visualization of epidemiological data. *The Lancet Regional Health - Southeast Asia*, 5. Publisher: Elsevier.
- Zhuang, M., Concannon, D., and Manley, E. (2022). A Framework for Evaluating Dashboards in Healthcare. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(4):1715–1731.