

MalariaScan: aplicativo web para detecção e visualização de aglomerados espaço-temporais de casos de malária na Fronteira Franco-Brasileira

Maira Alejandra Moreno Castillo¹, Christovam Barcellos¹

¹Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde
(Icict/Fiocruz)

Av. Brasil, 4.365 - Pavilhão Haity Moussatché - Manguinhos, RJ – Brazil

maira.moreno@fiocruz.br

Abstract. *This work presents MalariaScan, a web application developed in R/Shiny and Docker that integrates SaTScan™ to detect spatiotemporal malaria clusters on the Brazil–French Guiana border, supporting dynamic data visualization and epidemiological surveillance.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o MalariaScan, aplicativo web desenvolvido em R/Shiny e Docker que integra o SaTScan™ para detectar aglomerados espaço-temporais de malária na fronteira Brasil–Guiana Francesa, apoiando a visualização dinâmica de dados e a vigilância epidemiológica.*

1. Introdução

A malária continua sendo um desafio de saúde pública na região da fronteira entre o Brasil e a Guiana Francesa, onde fatores como fluxos migratórios intensos e sistemas de vigilância pouco integrados, impõem desafios que dificultam seu monitoramento e controle [Da Cruz Franco et al., 2019]. Diversos métodos espaço-temporais podem ser empregados como ferramentas de detecção de aglomerados de casos de doenças e identificação de áreas de risco [Yeng et al., 2020]. No entanto, a adoção desses métodos ainda é limitada em contextos de vigilância locais, principalmente pela falta de ferramentas acessíveis e capazes de operar sem depender de uma infraestrutura computacional complexa.

Para responder a esse desafio, este trabalho apresenta o *MalariaScan*, uma plataforma que incorpora os métodos estatísticos de varredura espaço-temporal do software *SaTScan*™ em um aplicativo web interativo, destinado a gestores, pesquisadores e profissionais da saúde que visem monitorar a ocorrência da malária na fronteira franco-brasileira. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta destinada à detecção, análise e visualização de aglomerados de casos de malária na região de fronteira entre o Brasil e a Guiana Francesa. Especificamente, o trabalho pretendeu: (1) identificar qualquer aumento anormal no número de casos de malária na fronteira franco-brasileira, (2) gerar e comunicar informações sobre possíveis surtos da doença na região e (3) fornecer um sistema que apoie a vigilância da malária.

2. Materiais e Métodos

2.1 Arquitetura do sistema

O *MalariaScan* foi desenvolvido em R/Shiny para a construção do painel web interativo, com uma arquitetura baseada em tecnologia Docker. O Docker é uma plataforma de código aberto (*open-source*) que utiliza contêineres como forma de virtualização em nível de sistema operacional, permitindo a execução de aplicações de forma isolada e eficiente [Potdar et al., 2020]. A Figura 1 mostra a arquitetura do sistema.

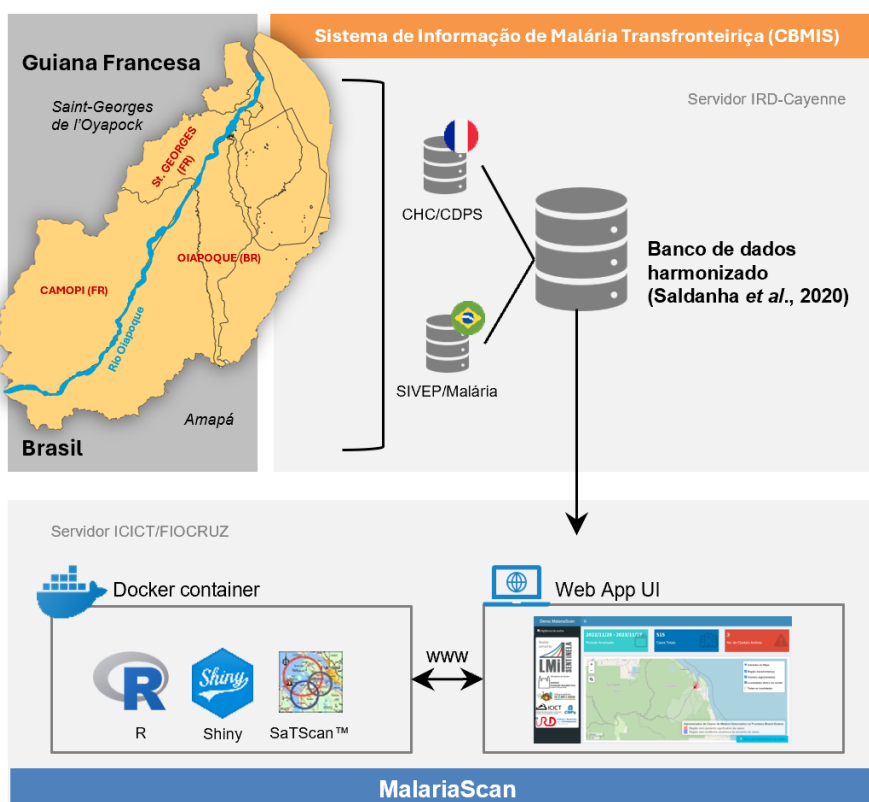


Figura 1. Arquitetura do *MalariaScan*

O *MalariaScan* segue os princípios de software gratuito e de código aberto (*Free Open-Source Software* – FOSS), sendo desenvolvido com tecnologias open-source e disponibilizado publicamente para uso, reprodução e adaptação. O código-fonte do aplicativo, bem como a documentação do projeto, encontra-se disponível em: <https://github.com/mairamorenoc/MalariaScan>

2.2 Fonte e Fluxo dos Dados

O aplicativo utiliza como fonte de dados o Sistema de Informação de Malária Transfronteiriça (CBMIS), que recupera e consolida, em formato anonimizado, informações sobre casos confirmados de malária na região de fronteira entre o Brasil e a Guiana Francesa, abrangendo os municípios de Ouanary, Saint-Georges de l'Oyapock e Camopi, na Guiana Francesa; e Oiapoque, no Brasil [Saldanha et al., 2020] (Figura 1). Os dados são obtidos, respectivamente, a partir dos Centros Descentralizados de Prevenção e Cuidados (CDPSs) e do Sistema de Informações de Vigilância

Epidemiológica da Malária (SIVEP-Malária). Devido às diferenças entre os sistemas de origem, os dados de casos de malária são harmonizados em um modelo comum, com padronização de estruturas, unidades e definição de casos, além da atribuição de coordenadas geográficas às localidades de ocorrência. O CBMIS fornece dados de casos novos e recidivas com atualização mensal.

Para fins analíticos, o *MalariaScan* utiliza exclusivamente registros classificados pelo CBMIS como casos novos e que possuem coordenadas geográficas válidas. Essa estratégia busca garantir uma maior consistência na análise espaço-temporal, evitando a inclusão de notificações relacionadas a seguimento de tratamento, recaídas ou registros com localização imprecisa, sendo estes fatores que poderiam introduzir vieses na identificação de padrões na ocorrência da doença e na detecção de aglomerados.

2.3 Metodologia Estatística Espaço-Temporal

Para a detecção dos possíveis surtos de malária na região transfronteiriça, o *MalariaScan* utiliza a estatística de varredura (*scan statistics*), implementada no software SaTScan™. No aplicativo, o SaTScan™ foi integrado à plataforma por meio de um contêiner Docker, no qual o binário executável da versão Linux é acionado via linha de comando [Kulldorff 2022].

Amplamente empregado em vigilância sindrômica [Aboushady et al., 2025], o método permite detectar qualquer aumento incomum na ocorrência de uma doença (definido como aglomerado ou *cluster*), por meio de uma janela cilíndrica móvel no espaço e no tempo, cuja base representa a área geográfica e a altura o período analisado. À medida que essa janela se desloca e varia de tamanho, o número de casos observados é comparado ao número de casos esperados sob a hipótese nula de ausência de aglomeração, sendo o aglomerado mais provável identificado pela maior discrepância entre esses valores, por meio de um teste de razão de verossimilhança. A significância estatística é então avaliada mediante simulações de Monte Carlo, resultando em medidas como o valor de p e o Intervalo de Recorrência (IR) [Kulldorff 2022].

No *MalariaScan*, foi adotada a análise de varredura espaço-temporal do tipo prospectiva, voltada à identificação de clusters ativos, permitindo o monitoramento contínuo e a detecção precoce de surtos [Kulldorff 2022]. O modelo probabilístico empregado foi o de permutação espaço-tempo (*Space-Time Permutation – STP*), no qual, o número esperado de eventos é estimado com base nas contagens observadas em um período de referência e na tendência da região [Kulldorff 2005]. A escolha desse modelo sustenta-se pela sua flexibilidade quanto aos requisitos de dados, uma vez que não depende de informações populacionais (indisponíveis de forma consistente para os municípios da Guiana Francesa), e pela sua capacidade de ajustar-se automaticamente, de forma não paramétrica, a variações espaciais e temporais [Kulldorff 2022; Levin-Rector et al., 2024]. Para a execução das análises, o sistema utiliza uma janela móvel contendo os 12 meses mais recentes disponíveis no CBMIS. A estatística de varredura prospectiva é aplicada para identificar aglomerados ativos de malária no mês mais recente da série temporal analisada.

2.4 Estudo de caso e recursos do aplicativo

Para demonstrar a aplicação do *MalariaScan*, foi realizada uma simulação de vigilância prospectiva na região de fronteira entre o Brasil e a Guiana Francesa, com base em

dados de novos casos confirmados de malária no período de 2024 a 2025. Na plataforma, tanto o desenho da estatística de varredura como as configurações do SaTScan™ foram predefinidos de acordo com os objetivos da ferramenta, no caso, a vigilância de surtos; assim como com as especificidades epidemiológicas da doença na área de estudo, seguindo recomendações descritas na literatura ([ver documentação do projeto](#)). Durante a simulação, a plataforma avaliou a presença de aglomerados ativos considerando o período mais recente disponível em um subconjunto de dados utilizado para testes locais.

No aplicativo, os resultados são apresentados por meio de um dashboard web interativo, estruturado segundo o princípio de Shneiderman et al. (1996): “visão geral primeiro, seguido de zoom e filtro e, por fim, detalhes sob demanda” [Shneiderman 1996]. Um mapa interativo exibe a distribuição espacial dos aglomerados, enquanto uma tabela reúne informações detalhadas (data de início, término, duração, significância estatística, entre outros). Gráficos interativos permitem explorar tendências temporais da malária, complementando a análise. A plataforma também inclui um painel de ajuda (FAQ) em R Shiny/shinyjs com perguntas e respostas pré-definidas para auxiliar na interpretação dos clusters detectados.

3. Resultados Preliminares e Discussão

3.1 Dinâmica da malária na região transfronteiriça

Durante o período de avaliação (2024–2025), o *MalariaScan* identificou 212 novos casos confirmados de malária na região transfronteiriça e detectou dois aglomerados ativos na comuna de Saint-Georges de l’Oyapock, na Guiana Francesa, distribuídos em sete localidades e ocorridos entre abril e maio de 2025 (Figura 2). A análise espaço-temporal prospectiva, baseada na estatística de varredura implementada no SaTScan™, evidenciou áreas com excesso de casos em relação ao esperado, com razões de casos observados/esperados elevadas (10,6 e 5,1, respectivamente), indicando concentração local de casos acima do padrão histórico recente.

O primeiro aglomerado apresentou um raio de 0,3 km, abrangendo três localidades, com 2 casos observados, frente a 0,2 esperados; enquanto o segundo, com raio de 0,4 km, incluiu quatro localidades, com 3 casos observados e 0,6 esperados. Contudo, ambos os aglomerados não apresentaram significância estatística ($p = 0,111$ e $p = 0,190$), e os respectivos IR inferiores a um ano, indicam baixa evidência estatística que permita caracterizá-los como surtos, nas localidades envolvidas e durante período avaliado. É importante, não entanto, considerar que se bem, os valores de p ou os limiares de IR determinam quais clusters são plausíveis de acionar um alerta, estes devem ser considerados juntamente com outros fatores para estabelecer se um aglomerado é de importância para a saúde pública [Wasserstein et al., 2019].

A série temporal mensal de casos entre maio de 2024 e 2025 mostrada na Figura 3, evidenciou dois picos de ocorrência, em junho e agosto de 2024, seguido por queda acentuada na ocorrência doença a partir de setembro, e manutenção de baixa ocorrência até maio de 2025. Embora a literatura reporta uma marcada dinâmica sazonal da malária na região transfronteiriça, com picos de transmissão entre setembro e dezembro, associados ao final da estação seca e início das chuvas [Saldanha et al., 2020; Da Cruz Franco et al., 2019], o padrão distinto na ocorrência de casos observado neste estudo,

pode refletir mudanças locais nas condições ambientais, intervenções de controle ou alterações no comportamento da população e do vetor.

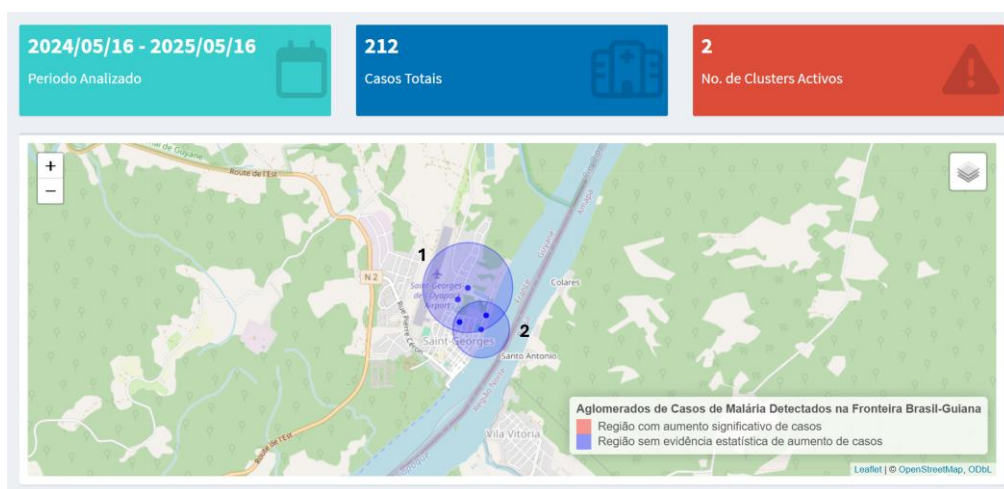


Figura 2. Aglomerados de casos de malária na fronteira franco-brasileira detectados pelo *MalariaScan*. A cor do formato do cluster é codificada de acordo com o valor de p : vermelho para $p < 0,05$ e azul para $p \geq 0,05$. Ao clicar em um cluster no mapa, é exibida uma janela pop-up com informações detalhadas, incluindo período, raio, valor de p , número de casos observados e número de casos esperados.

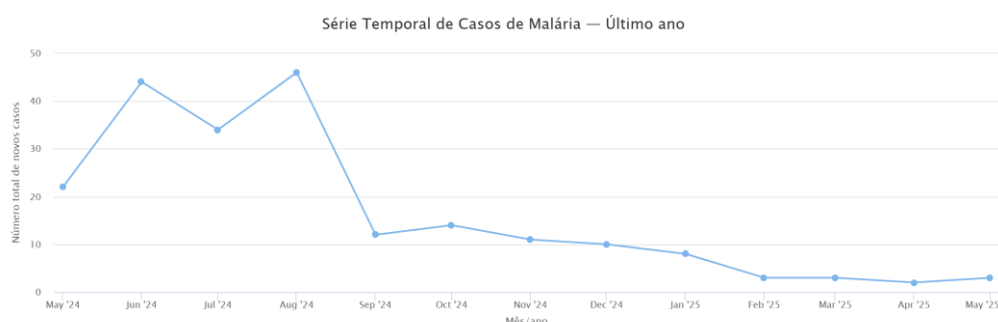


Figura 3. Série temporal mensal de casos de malária na fronteira franco-brasileira

3.2 O *MalariaScan* como ferramenta de apoio à vigilância de doenças tropicais negligenciadas

O aumento na disponibilidade de dados epidemiológicos tem impulsionado o desenvolvimento de ferramentas de vigilância em saúde baseadas em software livre. O *MalariaScan* se insere nesse contexto como uma aplicação web interativa, de arquitetura FOSS, voltada à detecção de padrões espaço-temporais de malária. Seu uso de contêineres Docker garante portabilidade, consistência entre ambientes e maior eficiência computacional em relação a máquinas virtuais [Potdar et al., 2020], além de favorecer a reprodutibilidade ao integrar código, dependências e ambiente de execução [Peng, 2011]. Adicionalmente, a incorporação de parâmetros pré-definidos do SaTScan™ em uma plataforma web reduz a complexidade das análises espaço-temporais e amplia sua acessibilidade. Essas características reforçam o potencial do sistema para apoiar a vigilância de doenças tropicais negligenciadas, especialmente em regiões, como as de fronteira, que possuem limitações técnicas e de infraestrutura.

4. Conclusões e Perspectivas Futuras

Os resultados deste trabalho demonstram o potencial do *MalariaScan* como ferramenta de apoio à vigilância da malária, contribuindo para a detecção precoce e a resposta a surtos, com possibilidade de adaptação a outras doenças tropicais negligenciadas e diferentes contextos geográficos.

5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado graças ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), do Observatório de Clima e Saúde do ICICT/FIOCRUZ e do Laboratório Misto Internacional (LMI) do Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

6. Referências

- Aboushady, A. T., et al. (2025). “The use of SatScan software to map spatiotemporal trends and detect disease clusters: a systematic review”. *Communications Medicine*, 5(1), 82.
- Da Cruz Franco, V., et al. (2019). “Complex malaria epidemiology in an international border area between Brazil and French Guiana: challenges for elimination”. *Tropical medicine and health*, 47(1), 24.
- Kulldorff, M., et al. (2005). “A space–time permutation scan statistic for disease outbreak detection”. *PLoS medicine*, 2(3), e59.
- Kulldorff, Martin. (2022). “SaTScanTM user guide”.
- Levin-Rector, A., et al. (2024). “Prospective spatiotemporal cluster detection using SaTScan: tutorial for designing and fine-tuning a system to detect reportable communicable disease outbreaks”. *JMIR public health and surveillance*, 10(1), e50653.
- Peng, R. D. (2011). “Reproducible research in computational science”. *Science*, 334(6060), 1226-1227.
- Potdar, A. M., et al. (2020). “Performance evaluation of docker container and virtual machine”. *Procedia Computer Science*, 171, 1419-1428.
- Saldanha, R., et al. (2020). Contributing to elimination of cross-border malaria through a standardized solution for case surveillance, data sharing, and data interpretation: development of a cross-border monitoring system. *JMIR public health and surveillance*, 6(3), e15409.
- Shneiderman, B. (2003). “The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations”. In *The craft of information visualization* (pp. 364-371). Morgan Kaufmann.
- Wasserstein, R. L., et al. (2019). Moving to a world beyond “ $p < 0.05$ ”. *The American Statistician*, 73(sup1), 1-19.
- Yeng, P. K., et al. (2020). Cluster detection mechanisms for syndromic surveillance systems: systematic review and framework development. *JMIR public health and surveillance*, 6(2), e11512.