



Boletim Mensal

Previsões para a temporada 2024-2025

Destaques

Importante

 Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

 Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

 Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

 Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

 Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis duí, et vehicula libero duí cursus duí. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur. Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas duí, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

 Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut duí. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc duí lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.¹

Em 2023, índios de manutenção de circulação de dengue no inverno e a perspectiva de clima propício para transmissão de arboviroses, devido ao El Niño, levou o Infodengue a lançar um relatório de alerta sobre o risco de epidemia em 2024. Esse relatório serviu de base para organização do serviço e da resposta a nível nacional e estadual. Ainda assim, o cenário real superou as expectativas em termos de morbidade e mortalidade.

INTRODUÇÃO

O objetivo desse relatório é apresentar previsões para a temporada de dengue 2024-2025, período de outubro de 2024 a setembro de 2025, a partir de uma coleção de modelos independentemente gerados por vários grupos de modelagem com experiência em dengue. Essa iniciativa, chamada de *Dengue 2024 Sprint*, foi organizado pela plataforma Mosqlimate, em parceria com o Infodengue.

A principal premissa do desafio é que prever onde e como a próxima epidemia ocorrerá é importante para alocar recursos para reduzir a carga de doenças, permitindo uma resposta oportunista. Assim, o *Dengue 2024 Sprint* teve como produto final fornecer previsões para 2025, em nível estadual, por meio de uma comunidade de modeladores com metas e métodos unificados que geraram um conjunto de modelos independentes testados com dados de temporadas anteriores da doença.

O Mosqlimate é um projeto de pesquisa cuja missão é gerar metodologias para facilitar o processo de modelagem do impacto do clima na dinâmica dos arboviroses, e é responsável pela construção e manutenção de uma plataforma padronizada para validação de modelos.

Introdução

Um número excepcional de casos de dengue foram registrados globalmente em 2024. O mesmo ocorreu no Brasil, com epidemias em quase todos os estados e taxas de ataque muito maiores do que historicamente conhecido. Observou-se também a consolidação da expansão da dengue para áreas ao sul e em altitudes onde não se registrava epidemias de dengue antes de 2020. Além disso, observou-se nesse ano, a co-circulação de chikungunya e febre oropouche, que por compartilharem sintomas iniciais semelhantes, podem ter contribuído para o aumento de casos notificados como dengue.

Mediante esse cenário, foi lançado em junho de 2024, o Sprint Infodengue com o objetivo de gerar projeções de casos de dengue para o ano de 2025 a partir da experiência de vários grupos de modelagem. Sabe-se que a combinação de modelos fortalece a capacidade preditiva, por meio da geração de ensembles. O sprint Infodengue foi conduzido pelas equipes do Infodengue e da plataforma Mosqlimate com a seguinte pergunta principal:

Qual será o número esperado de casos prováveis de dengue na temporada 2024-25, no Brasil como um todo, e por Unidade de Federação (UF)? O objetivo principal do *Dengue 2024 Sprint* foi promover o treinamento de modelos para a dengue no Brasil e fornecer previsões para 2025, enquanto os objetivos específicos foram:

- Organizar uma comunidade de modeladores com objetivos e métodos unificados
- Gerar um conjunto de modelos independentes testados usando dados de temporadas anteriores
- Treinar modelo de conjunto com todos os envios
- Produzir previsões para 2025 usando os melhores modelos, simples ou combinados
- Atualizar e monitorar o desempenho dos modelos em 2025

Para o sprint, a plataforma Mosqlimate organizou uma base abrangente de dados epidemiológicos, demográficos e climáticos, assim como um template no Github para o treinamento de modelos preditivos visando a elaboração de um ensemble de previsões.

Participantes do Sprint

Métodos

Dados

A plataforma Mosqlimate trabalha sobre vários fluxos de dados com acesso por meio de endpoints disponíveis em <https://api.mosqlimate.org/datastore/>:

MÉTODOS

Dados de Incidência. Um endpoint dá acesso a dados do projeto Infodengue, que fornece uma série de variáveis epidemiológicas para todos os municípios brasileiros em uma escala de tempo semanal.

Dados da expansão da dengue, zika e chikungunya no Brasil são obtidos do projeto Epi-Scanner, que recupera e analisa informações dos dados de incidência atualizados do Infodengue **Previsões climáticas**. Por meio deste endpoint da API, é possível buscar várias variáveis climáticas que foram extraídas para todos os municípios brasileiros em uma escala de tempo diária a partir dos dados de reanálise baseados em satélite fornecidos pelo Copernicus ERA5. Dados de temperatura e umidade são obtidos das estações meteorológicas de aeroportos assim como de imagens de satélite.

Dados de densidade populacional de mosquitos (Ovicounter): Este endpoint tem como função acesso aos dados de abundância de mosquitos do projeto Contaovos, codesenvolvido pelo projeto Mosqlimate. Esses dados são baseados em armadilhas de ovos distribuídas por todo o Brasil de acordo com um design de monitoramento especificado pelo Ministério da Saúde.

Dados demográficos: Para o cálculo de indicadores epidemiológicos, dados demográficos dos municípios brasileiros são atualizados a cada ano no Infodengue, utilizando as estimativas do IBGE.

As variáveis disponíveis para o conjunto de endpoints estão listadas a seguir:

1. Semana epidemiológica
2. Número acumulado de casos no ano
3. Número estimado de casos por semana usando o modelo de nowcasting (nota: Os valores são atualizados retrospectivamente a cada semana)
4. Intervalo de credibilidade de 95% do número estimado de casos
5. Número de casos notificados por semana (Os valores são atualizados retrospectivamente todas as semanas)
6. Probabilidade de ($R_t > 1$). Para emitir o alerta laranja, usamos o critério $p_{rt} > 0,95$ por 3 semanas ou mais.
7. Taxa de incidência estimada por 100.000
8. Divisão submunicipal (atualmente implementada apenas no Rio de Janeiro)
9. Nível de alerta (1 = verde, 2 = amarelo, 3 = laranja, 4 = vermelho)
10. Índice numérico
11. Estimativa pontual do número reprodutivo de casos (R_t)
12. População estimada (IBGE)
13. Média das temperaturas mínimas diárias ao longo da semana
14. Média das temperaturas diárias ao longo da semana
15. Média das temperaturas máximas diárias ao longo da semana
16. Média da umidade relativa mínima diária do ar ao longo da semana
17. Média da umidade relativa diária do ar ao longo da semana
18. Média da umidade relativa máxima diária do ar ao longo da semana
19. Receptividade climática, ou seja, condições para alta capacidade vetorial onde
 - (a) 0 = desfavorável
 - (b) 1 = favorável
 - (c) 2 = favorável nesta semana e na semana passada
 - (d) 3 = favorável por pelo menos três semanas (suficiente para completar um ciclo de transmissão)

MÉTODOS

20. Evidência de transmissão sustentada onde:

- (a) 0 = nenhuma evidência
- (b) 1 = possível
- (c) 2 = provável
- (d) 3 = altamente provável

21. Incidência estimada abaixo do limiar pré-epidemia onde,

- (a) 1 = acima do limiar pré-epidemia, mas abaixo do limiar epidêmico
- (a) 2 = acima do limiar epidêmico

Desafios

O desafio foi composto por duas etapas, dois testes de validação e uma meta de previsão. Os testes de validação e previsão consistiram em prever o número semanal de casos de dengue por estado (UF) nas temporadas 2022-2023 e 2023-2024 usando dados de casos notificados entre 2010 a 2023; enquanto a meta de previsão consistiu em prever o número semanal de casos de dengue no Brasil, e por estado (UF), na temporada 2024-2025 utilizando dados do período de 2010 a 2024.

O período das previsões foi entre a semana epidemiológica (SE) 41 de um ano e a SE 40 do ano seguinte, que corresponde a uma temporada típica de dengue no Brasil. Os conjuntos de dados de treinamento e seu respectivo dicionário de variáveis foram disponibilizados na plataforma Mosqlimate. Em geral, o conjunto de dados continha dados epidemiológicos, demográficos e climáticos de acesso aberto, atualizáveis e disponíveis para todos os brasileiros.

Todas as previsões da equipe foram cadastradas na plataforma Mosqlimate, usando a seguinte ferramenta de registro <https://api.mosqlimate.org/models/>. A plataforma, que esta projetada para comparar experimentos de previsão de arbovírus realiza as análises conforme metrícias de avaliação definidas pela equipe.

Scores de avaliação dos modelos

O desempenho de cada modelo foi avaliado utilizando um conjunto de pontuações e métricas que consideraram o início da epidemia e o pico da epidemia e o intervalo de tempo, maximizando a correlação cruzada entre previsões e dados.

Analisando os resultados de cada predição, foi calculado um score que indicava os melhores resultados gerados pelos modelos propostos para cada estado e cada ano, correspondente aos testes de validação e previsão. Para cada ano e estado, os modelos foram avaliados de acordo com a pontuação e a semana epidemiológica prevista e com base nessas pontuações, os modelos de concordância foram classificados com diferentes scores. Uma classificação global também foi calculada utilizando um método semelhante.

A pontuação logarítmica, CRPS e pontuação de intervalo foram calculadas usando o pacote Python `\ href{https://github.com/Mosqlimate-project/mosqlimate-client/tree/main}mosqllient`, que captura as previsões da API e as compara usando algumas pontuações implementadas no pacote Python scoringrules.

Finalmente, um modelo ensemble foi treinado para produzir previsões para 2025 utilizando os melhores modelos, únicos ou combinados. Para o ensemble, finalmente, os modelos foram adicionados incrementalmente, seguindo a ordem de classificação até que não houvessem mais melhoria no desempenho do modelo.

Modelos utilizados

Construção de ensembles

Forecast para 2025

RESULTADOS

Resultados

O desafio reuniu sete equipes de 5 diferentes países, incluindo Brasil, com conhecida expertise em modelagem de dengue para promover um treinamento padronizado de modelos preditivos conjunto (Ensemble) para a dengue no Brasil. Estas equipes enviaram para a plataforma Mosqlimate previsões de dengue usando uma variedade de abordagens de modelagem para as temporadas 2022-2023, 2023-2024 e 2024-2025 para os estados do Amazonas (AM), Ceará (CE), Goiás (GO), Minas Gerais (MG) e Paraná (PR).

Os seguintes resultados foram fornecidos pelos modelos, tanto com estimativas pontuais quanto com intervalos preditivos de 90%:

1. Curva de casos de dengue por SE para as temporadas de 2023-2024
2. Número acumulado de casos prováveis de dengue para UF nas temporadas de 2023-2024
- 3.

Previsões de teste para 2023-2024 por UF

Os gráficos abaixo mostram as curvas epidêmicas previstas e observadas para os dois anos: 2023 e 2024. O código para gerar o gráfico está disponível no Github do projeto Mosqlimate .

Em 2024, todos os estados apresentaram picos de dengue maiores do que em 2023. Em MG e GO, os picos foram três vezes e cinco vezes maiores, respectivamente. Em geral, o desempenho dos modelos foi melhor em PR e MG, onde todos os modelos previram um aumento no pico epidêmico em 2024. Destacamos o modelo DD como o único que previu aumento em todos os estados, e GHR e KDP como os que tiveram desempenho mais preciso em MG (Figura 1)

Scores dos modelos

Previsões de teste para 2025 por UF

RESULTADOS

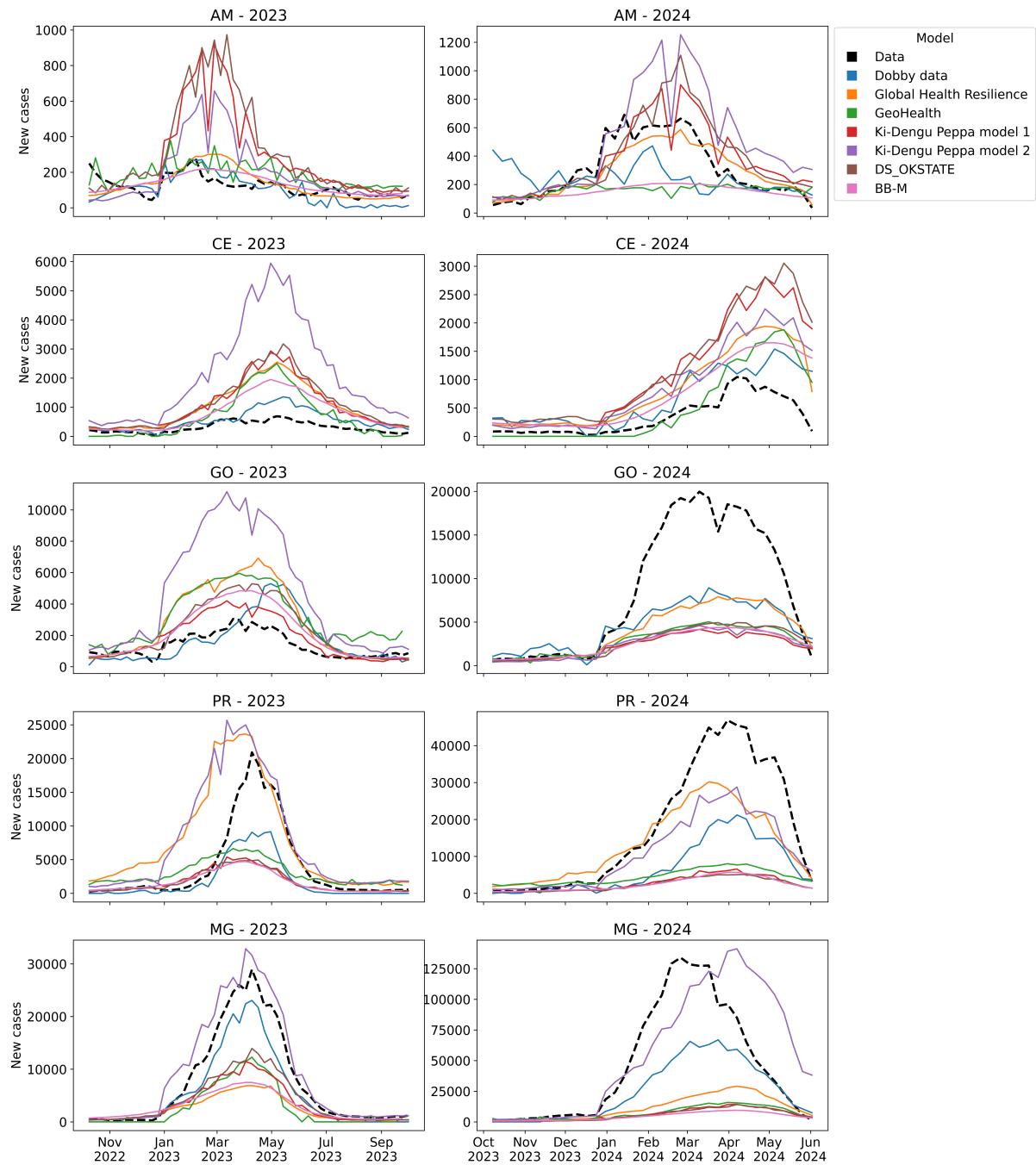


Figure 1: Enter Caption

FICHA CATALOGRÁFICA

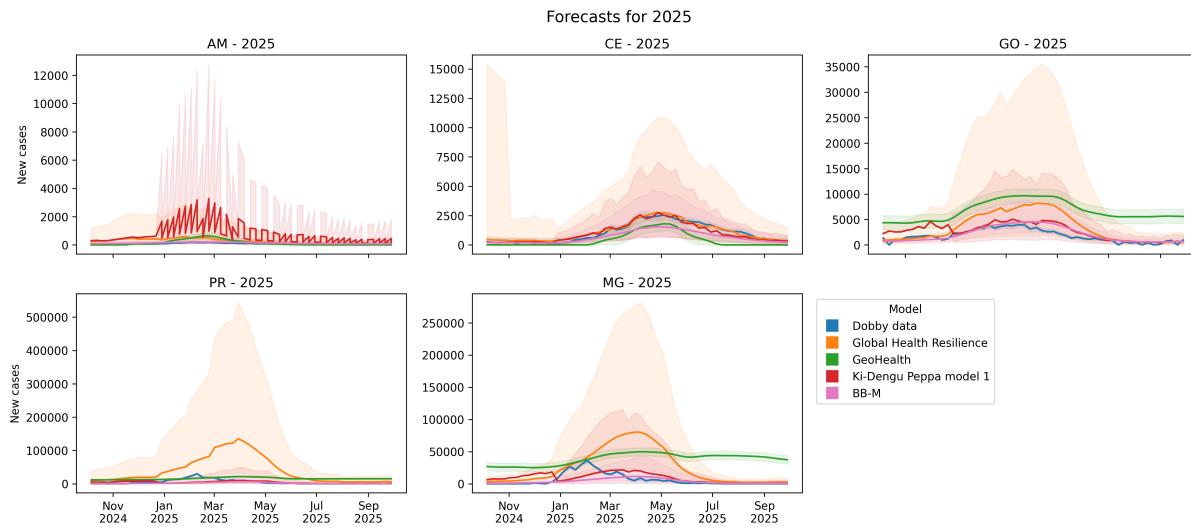
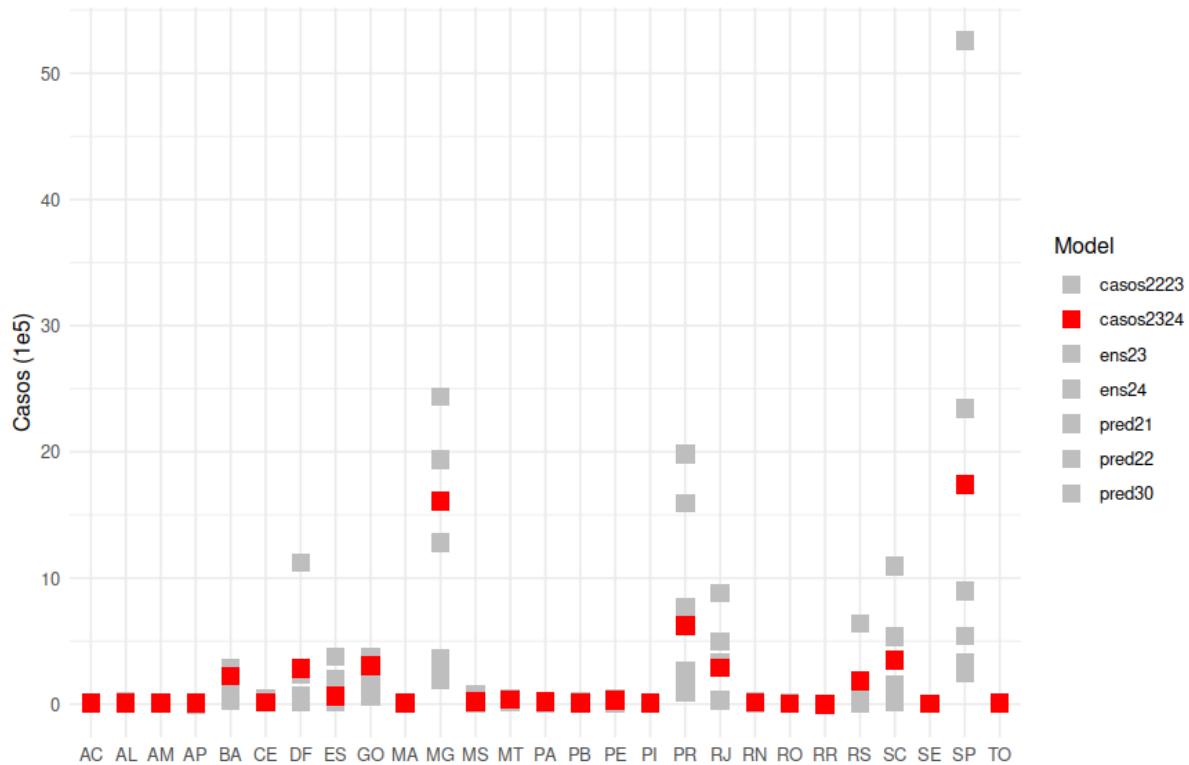


Figure 2: Enter Caption

Cenários para 2025, por UF



Ensemble 2025 por UF

Ficha catalográfica

FICHA CATALOGRÁFICA

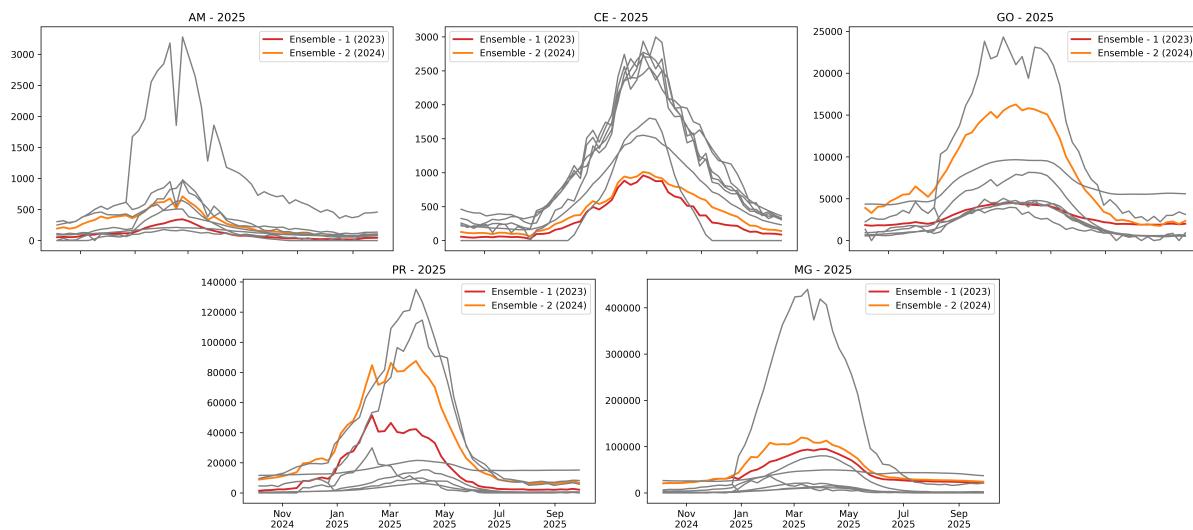


Figure 3: Enter Caption

Edição do Boletim:

Claudia Codeço; Flávio Coelho

Produção do Boletim:

Fabiana Ganem; Eduardo Araujo

Participantes do Infodengue Sprint:

Americo Cunha¹

Chloe Fletcher, Daniela Lührsen, Giovenale Moirano, Raúl Fernández, Rachel Lowe²

Eduardo Araujo, Fernanda Valente, Luiz Max Carvalho³

Haridas Das, Lucas Stolerman⁴

Iasmim Almeida, Leonardo Bastos, Lucas Bianchi, Ramila Alencar⁵

Xiang Chen, Paula Moraga⁶

Como citar

Infodengue (2014) Boletim mensal, v.01, Rio de Janeiro.

Apoios

O Sprint teve o apoio do Wellcome Trust e do Ministério da Saúde por meio dos projetos Mosqlimate e Info-dengue.

¹Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

²Barcelona Supercomputing Center (BSC), Barcelona, Espanha

³Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, Brasil

⁴University of Oklahoma

⁵Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil

⁶Kaust University, Arábia Saudita

FICHA CATALOGRÁFICA

Mais informações, consulte:

<https://info.dengue.mat.br>

<https://mosqlimate.org/>