



## **Tendência Decrescente e Sazonalidade na Cobertura da Vacina Tetraviral no Brasil: Estudo Ecológico Retrospectivo de Séries Temporais (2013–2022)**

**Decreasing Trend and Seasonality in Tetravalent Vaccine Coverage in Brazil: A Retrospective Ecological Time Series Study (2013–2022)**

**Tendencia Decreciente y Estacionalidad en la Cobertura de la Vacuna Tetravírica en Brasil: Estudio Ecológico Retrospectivo de Series Temporales (2013–2022)**

**Gabriel Jersemi Rodrigues Costa**

Graduando em Medicina

Universidade Federal do Pará

Belém, Pará, Brasil.

E-mail: gabrieljersem@gmail.com

**João Pedro Soares Machado**

Graduando em Medicina

Universidade Federal do Pará

Belém, Pará, Brasil.

E-mail: joao.machado@ics.ufpa.br

**Lucas Emanuel Couto Vogado**

Graduando em Medicina

Universidade Federal do Pará

Belém, Pará, Brasil.

E-mail: lucas.vogado@ics.ufpa.br

### **RESUMO**

Este estudo objetivou descrever a tendência temporal e a sazonalidade da aplicação da vacina tetraviral no Brasil entre 2013 e 2022. Por meio de um estudo ecológico retrospectivo de séries temporais com dados mensais nacionais do DATASUS (n=120), analisou-se a dinâmica da vacinação com estatística descritiva, decomposição de série e regressão linear. Os resultados revelaram uma tendência decrescente e estatisticamente significativa de 1.226,5 doses a menos por mês ( $R^2=0,346$ ;  $p<0,001$ ), com correlação negativa moderada-forte entre tempo e doses aplicadas ( $\rho=-0,593$ ). Evidenciou-se forte sazonalidade, com picos no primeiro semestre, e a presença de anomalias nos registros, além da não-estacionariedade da série ( $p=0,490$ ). Tais achados indicam um risco progressivo à imunidade coletiva e fragilidades no sistema de informação. Conclui-se que há uma necessidade urgente de reavaliar as



estratégias de imunização, reforçar a vigilância da qualidade dos dados e promover campanhas contínuas para mitigar as quedas e garantir a sustentabilidade da proteção vacinal, assegurando a efetividade do Programa Nacional de Imunizações.

**Palavras-chave:** Vacina Tetraviral, Séries Temporais, Cobertura Vacinal, Saúde Pública, Programa Nacional de Imunizações.

### ABSTRACT

This study aimed to describe the temporal trend and seasonality of the tetravalent vaccine administration in Brazil between 2013 and 2022. Through a retrospective ecological time series study with national monthly data from DATASUS ( $n=120$ ), the vaccination dynamics were analyzed using descriptive statistics, series decomposition, and linear regression. The results revealed a statistically significant decreasing trend of 1,226.5 fewer doses per month ( $R^2=0.346$ ;  $p<0.001$ ), with a moderate-to-strong negative correlation between time and applied doses ( $\rho=-0.593$ ). Strong seasonality was evident, with peaks in the first semester, along with the presence of data anomalies and the non-stationarity of the series ( $p=0.490$ ). These findings indicate a progressive risk to herd immunity and weaknesses in the information system. It is concluded that there is an urgent need to reassess immunization strategies, strengthen data quality surveillance, and promote continuous campaigns to mitigate the declines and ensure the sustainability of vaccine protection, thereby securing the effectiveness of the National Immunization Program.

**Keywords:** Tetravalent Vaccine, Time Series Analysis, Vaccination Coverage, Public Health, National Immunization Program.

### RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo describir la tendencia temporal y la estacionalidad de la aplicación de la vacuna tetravírica en Brasil entre 2013 y 2022. Mediante un estudio ecológico retrospectivo de series temporales con datos mensuales nacionales del DATASUS ( $n=120$ ), se analizó la dinámica de la vacunación con estadística descriptiva, descomposición de series y regresión lineal. Los resultados revelaron una tendencia decreciente y estadísticamente significativa de 1.226,5 dosis menos por mes ( $R^2=0,346$ ;  $p<0,001$ ), con una correlación negativa moderada-fuerte entre tiempo y dosis aplicadas ( $\rho=-0,593$ ). Se evidenció una fuerte estacionalidad, con picos en el primer semestre, además de la presencia de anomalías en los registros y la no estacionariedad de la serie ( $p=0,490$ ). Dichos hallazgos indican un riesgo progresivo para la inmunidad colectiva y debilidades en el sistema de información. Se concluye que existe una necesidad urgente de reevaluar las estrategias de inmunización, reforzar la vigilancia de la calidad de los datos y promover campañas continuas para mitigar las caídas y garantizar la sostenibilidad de la protección vacunal, asegurando la efectividad del Programa Nacional de Inmunizaciones.

**Palabras clave:** Vacuna Tetravírica, Análisis de Series Temporales, Cobertura de Vacunación, Salud Pública, Programa Nacional de Inmunizaciones.



## 1 INTRODUÇÃO

A imunização constitui-se em uma das intervenções de maior impacto em saúde pública, capaz de reduzir substancialmente a morbimortalidade por doenças imunopreveníveis e de garantir ganhos expressivos em expectativa de vida (MUHOZA et al., 2021; MOURA et al., 2023). No Brasil, o Programa Nacional de Imunizações (PNI), instituído pelo Ministério da Saúde, assegura a oferta universal e gratuita de vacinas, incluindo a introdução da vacina tetraviral — que combina as vacinas contra sarampo, caxumba, rubéola e varicela — em 2013, como parte do esquema de duas doses para idosos de proteção ampliada (BRAZ et al., 2016; MS, 2014).

Inicialmente, a cobertura da tetraviral alcançou patamares próximos ou superiores a 95 %, meta estabelecida pelo PNI para manutenção da imunidade de rebanho; contudo, estudos recentes apontam tendência decrescente na adesão às doses subsequentes, com cobertura abaixo do recomendado e elevação da taxa de abandono do esquema vacinal (MOURA et al., 2023; SOUSA et al., 2024). Ademais, observa-se sazonalidade bem demarcada, com picos de aplicação no primeiro semestre, coincidindo com o calendário escolar, o que pode gerar janelas de vulnerabilidade nos períodos de menor demanda (MUHOZA et al., 2021).

Em paralelo, fatores como hesitação vacinal, intensificada no contexto da pandemia de COVID-19, e deficiências no registro e consolidação de dados — evidenciadas por anomalias extremas nos bancos de doses aplicadas — ameaçam a fidedignidade das estatísticas e compromissos de eliminação de doenças já certificados na Região das Américas (SATO, 2018; SOUSA et al., 2024). Apesar de investigações anteriores terem analisado, em nível federativo e nacional, a cobertura da vacina tríplice viral e as taxas de abandono (MOURA et al., 2023), permanece lacunar a caracterização detalhada da dinâmica da tetraviral ao longo de toda a década subsequente à sua introdução.

Diante deste cenário, o presente estudo objetiva descrever, em âmbito nacional e no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2022, a tendência temporal e



a sazonalidade da cobertura da vacina tetraviral no Brasil, bem como identificar anomalias nos registros de doses aplicadas, de modo a fornecer elementos que subsidiem o planejamento de estratégias de imunização mais eficazes e contínuas.

## 2 METODOLOGIA

O presente estudo foi delineado como uma investigação ecológica, retrospectiva e descritiva, com abordagem de séries temporais. O objetivo central foi analisar o padrão de aplicação da vacina tetraviral (sarampo, caxumba, rubéola e varicela) no território brasileiro ao longo de uma década, identificando tendências, sazonalidades e anomalias nos registros.

A coleta de dados baseou-se em fontes secundárias de domínio público, especificamente os relatórios mensais de doses aplicadas, disponibilizados oficialmente pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). O horizonte temporal da análise compreendeu o período de janeiro de 2013 a dezembro de 2022, resultando em uma série temporal composta por 120 observações mensais ( $n=120$ ). A variável de desfecho primária foi definida como o número total de doses da vacina tetraviral administradas a cada mês. Para este recorte metodológico, optou-se por uma agregação em nível nacional, não sendo realizadas estratificações por unidade federativa, município ou faixa etária, a fim de focar na dinâmica macro do programa de imunização. Atributos adicionais, como a data exata (ano e mês), foram coletados para fins de controle e organização cronológica dos dados.

Previamente à análise estatística, foi conduzida uma etapa rigorosa de tratamento e pré-processamento dos dados para garantir sua consistência, coerência e qualidade. Esta fase incluiu a conversão das datas para o formato datetime, permitindo a ordenação cronológica inequívoca da série. Realizou-se uma inspeção minuciosa para a identificação de outliers ou valores discrepantes, como um registro atípico de "19 doses", cuja natureza foi avaliada para determinar a necessidade de exclusão ou imputação. A validação da qualidade dos registros foi um passo crucial para mitigar vieses e garantir a fidedignidade das análises subsequentes.



A análise estatística foi multifacetada, iniciando-se pela estatística descritiva para caracterizar a distribuição dos dados, por meio do cálculo de medidas de tendência central (média, mediana, moda) e de dispersão (desvio-padrão, variância e amplitude). A exploração visual dos dados foi realizada com a elaboração de um histograma, para avaliar a distribuição de frequência das doses mensais, e de um gráfico da série temporal. Este último foi submetido a um processo de decomposição para isolar e analisar seus componentes fundamentais: tendência, sazonalidade e resíduo. Para avaliar formalmente a estacionariedade da série, uma premissa importante para modelagem econométrica, aplicou-se o teste Augmented Dickey-Fuller (ADF). A investigação da estrutura de dependência temporal e de associações foi efetuada mediante o cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson e Spearman, acompanhados de seus respectivos valores de significância. Adicionalmente, um modelo de regressão linear simples foi ajustado aos dados para quantificar a tendência de longo prazo, sendo estimados o coeficiente angular (slope), o intercepto e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Todas as etapas de processamento e análise foram executadas no ambiente de programação Python (versão 3), com o auxílio das bibliotecas pandas e numpy para manipulação de dados, e matplotlib, statsmodels e scipy para visualização e modelagem estatística. Os arquivos originais em formato Excel foram mantidos para conferência manual e validação cruzada dos dados. Para a interpretação dos resultados dos testes de hipóteses, foi adotado um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). A análise crítica dos outliers e dos padrões sazonais identificados nesta fase exploratória constitui um critério fundamental para a seleção e o desenvolvimento de modelos estocásticos mais sofisticados em etapas futuras da pesquisa, como os modelos SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average).

Esta abordagem metodológica robusta e sistemática assegura o rigor na descrição dos padrões de vacinação, permitindo uma avaliação aprofundada das tendências de longo prazo e da sazonalidade associada à administração da vacina tetraviral no âmbito do Programa Nacional de Imunizações do Brasil.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Entre janeiro de 2013 e dezembro de 2022, foram compilados 120 registros mensais da aplicação da vacina tetraviral (sarampo, rubéola, caxumba e varicela) em todo o território nacional. A análise descritiva evidenciou uma média mensal de 89 427 doses, com desvio-padrão elevado (70 075 doses), refletindo forte variabilidade intermensal; a mediana situou-se em 72 013 doses, enquanto a moda apresentou valor atípico de apenas 19 doses, sugerindo erro de registro. A amplitude entre o mínimo (19 doses) e o máximo (410 098 doses) sublinha discrepâncias operacionais.

A decomposição da série temporal revelou ciclo sazonal anual, com picos sistemáticos concentrados no primeiro semestre de cada exercício, coincidindo com o calendário escolar e as campanhas regulares de rotina. A componente de tendência mostrou declínio progressivo a partir de dezembro de 2014, confirmado estatisticamente pela regressão linear que estimou redução média de 1 226,5 doses por mês (slope =  $-1\,226,5$ ; intercepto = 159 951), modelo que explica 34,6 % da variância total ( $R^2 = 0,346$ ). Complementarmente, o teste de estacionariedade de Dickey–Fuller aumentado não rejeitou a hipótese nula de raiz unitária (estatística =  $-1,587$ ;  $p = 0,490$ ), indicando que a série não é estatisticamente estacionária sem diferenciação prévia, possivelmente em virtude de flutuações sazonais que atenuam a detecção de tendência em testes formais.

A investigação da associação temporal revelou correlação negativa significativa entre o tempo e o número de doses administradas: Pearson  $r = -0,589$  ( $p < 0,001$ ) e Spearman  $\rho = -0,593$  ( $p < 0,001$ ). Estes coeficientes, de intensidade moderada a forte, corroboram o perfil de queda constante identificado na regressão e reforçam a necessidade de intervenção para prevenir declínio da imunização.

O declínio sistemático na cobertura vacinal, quantificado em aproximadamente 1 226 doses mensais, pode refletir fatores multifatoriais que incluem, mas não se limitam a, hesitação vacinal potencialmente agravada pelo contexto pandêmico de COVID-19, interrupções logísticas na cadeia de frio e redistribuição de recursos de saúde para enfrentamento de emergências. A sazonalidade reforça a importância de sincronização das campanhas com o período



pré-retorno escolar, quando a procura historicamente se intensifica. A discrepância inicial (19 doses) sugere um pico de erro operacional—talvez duplicação ou omissão de dados—que inflaciona artificialmente a variância e provoca viés na média; a exclusão ou imputação desse valor extremo é recomendada para análises subsequentes e modelagens preditivas.

A não-confirmada estacionariedade estatística, apesar da clara tendência de declínio visual, aponta para o papel de ciclos regulares e choque de eventos (por exemplo, campanhas intensivas) que podem mascarar em testes formais a tendência de longo prazo. Do ponto de vista metodológico, adotar modelos SARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average com componente sazonal) ou incorporar termos de intervenção para campanhas pontuais se mostra imprescindível para previsão acurada e avaliação de impacto de políticas. É imperativo reconhecer as limitações inerentes ao delineamento deste estudo, as quais, embora não invalidem os achados, balizam o seu escopo interpretativo.

Em primeiro lugar, a natureza agregada dos dados, em escala nacional e com frequência mensal, constitui uma barreira para análises aprofundadas sobre os fatores determinantes da cobertura vacinal. Essa agregação impede a desagregação por perfis sociodemográficos ou a identificação de heterogeneidades regionais, fenômenos cruciais para a formulação de políticas públicas focais.

Adicionalmente, o horizonte temporal da análise, restrito ao período entre 2013 e 2022 pela disponibilidade de registros sistematizados, não contempla fases anteriores do programa de imunização que poderiam ser relevantes para a compreensão de padrões históricos de longo prazo.

Outra restrição significativa foi a ausência de variáveis externas no modelo, como indicadores de campanhas de vacinação específicas, dados socioeconômicos, métricas de acesso geográfico aos serviços de saúde e o nível de investimento público no setor. Tal lacuna impossibilitou uma avaliação robusta dos determinantes ecológicos da tendência observada.

Finalmente, e de fundamental importância epistemológica, deve-se ressaltar que a correlação não implica causalidade. A associação negativa identificada entre o



tempo e o número de doses aplicadas é um achado descritivo valioso, mas não permite, isoladamente, inferir suas causas diretas, que podem estar relacionadas a múltiplos fatores contextuais e de políticas públicas.

Não obstante as limitações supracitadas, os resultados deste estudo possuem implicações práticas de grande relevância e urgência para a gestão do Programa Nacional de Imunizações. A tendência decrescente e a sazonalidade marcada funcionam como um alerta, indicando a necessidade de redimensionar e fortalecer as estratégias de vacinação em âmbito nacional. Nesse sentido, sugere-se o reforço de campanhas de imunização em períodos não coincidentes com o calendário escolar, como as férias, para mitigar as quedas sazonais e alcançar populações que possam ter perdido as oportunidades regulares. Ademais, evidencia-se a necessidade crítica de um monitoramento contínuo e rigoroso da qualidade dos dados notificados, idealmente com a implementação de protocolos de validação centralizada capazes de detectar e corrigir valores extremos ou inconsistentes em tempo real.

Por fim, para viabilizar intervenções mais precisas e eficientes, é recomendável fomentar a integração de sistemas de informação que permitam o cruzamento de dados de cobertura vacinal com informações sobre mobilidade populacional, indicadores socioeconômicos e barreiras de acesso, direcionando esforços para as áreas e grupos mais vulneráveis.

Para superar tais limitações e aprofundar a compreensão sobre a dinâmica da vacinação no Brasil, recomenda-se uma agenda de pesquisas futuras com abordagens metodológicas complementares.

Em primeiro lugar, a realização de estudos qualitativos junto a populações subatendidas é fundamental para elucidar as barreiras comportamentais, culturais e logísticas que influenciam a hesitação vacinal e a baixa adesão.

No campo quantitativo, sugere-se a aplicação de modelagem avançada de séries temporais, como os modelos SARIMAX (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with exogenous factors) ou modelos de intervenção (intervention analysis). Essas técnicas permitiriam não apenas tratar a série de forma mais robusta (por exemplo, com diferenciação para obter estacionariedade), mas também



incorporar o efeito de variáveis exógenas, como o calendário de campanhas, a incidência de surtos e as mudanças em políticas públicas.

Finalmente, para estabelecer relações de causalidade de forma mais robusta, recomenda-se o uso de delineamentos quasi-experimentais, como a análise de séries temporais interrompidas (interrupted time-series analysis) ou o método de diferenças-em-diferenças (differences-in-differences), para avaliar o impacto causal de campanhas específicas ou de variações no investimento em saúde sobre a cobertura vacinal.

#### 4 CONCLUSÃO

Ao longo do período de janeiro de 2013 a dezembro de 2022, evidenciou-se uma redução contínua e estatisticamente significativa na aplicação da vacina tetraviral (sarampo, rubéola, caxumba e varicela) no Brasil, com decréscimo médio de 1 226,5 doses por mês ( $R^2 = 0,346$ ;  $p < 0,001$ ). Esse declínio, acentuado pela correlação negativa moderada-forte entre tempo e cobertura vacinal (Pearson  $r = -0,589$ ; Spearman  $\rho = -0,593$ ), configura um sinal de alerta para a manutenção da imunidade coletiva. A tendência de queda, visível a partir de dezembro de 2014, reflete não apenas flutuações sazonais previsíveis – concentradas no primeiro semestre, em consonância com o calendário escolar – mas também falhas potenciais na adesão e na logística de distribuição.

A persistência de picos anuais resulta em janelas de vulnerabilidade fora dos meses de campanha, sugerindo que a atual periodicidade das ações de rotina não assegura cobertura uniforme ao longo do ano. Além disso, a existência de um outlier extremo no início da série (19 doses em janeiro de 2013) destaca fragilidades no processo de consolidação de dados, cujo endurecimento de protocolos de validação se mostra imprescindível para garantir a fidedignidade das estatísticas oficiais. A não-estacionariedade aparente, confirmada pelo teste de Dickey–Fuller ( $p = 0,490$ ), reforça a necessidade de adoção de modelos preditivos que incorporem diferenciação e termos sazonais (p.ex., SARIMA) para projeções acuradas e planejamento de intervenções pontuais.



Em termos de saúde pública, a combinação de queda sistemática e variabilidade elevada compromete a efetividade das metas de eliminação de doenças controláveis por vacinação. A redução contínua de doses aplicadas pode resultar em reemergência de surtos, aumento de custos com controle de epidemias e sobrecarga de serviços de atenção primária. Portanto, conclui-se que é imprescindível reorientar a estratégia nacional de imunizações, ampliando campanhas fora dos períodos tradicionais, reforçando ações de educação em saúde e assegurando a integridade do registro de dados em tempo real.

Por fim, este estudo demonstra o valor de uma abordagem ecossistêmica na avaliação de programas de imunização: associar análises descritivas, testes de tendência e modelagens de regressão oferece um panorama robusto sobre o comportamento da cobertura vacinal. Espera-se que gestores de saúde pública utilizem essas conclusões como base para a implementação de políticas mais proativas — tais como monitoramento contínuo de qualidade de dados, campanhas de reposicionamento em zonas de cobertura crítica e uso de sistemas de alerta precoce —, assegurando, assim, a estabilidade da proteção coletiva e a mitigação de riscos futuros.



## REFERÊNCIAS

- BRAZ, R. M.; DOMINGUES, C. M. A. S.; TEIXEIRA, A. M. S.; LUNA, E. J. Classificação de risco de transmissão de doenças imunopreveníveis a partir de indicadores de coberturas vacinais nos municípios brasileiros. *Epidemiol. Serv. Saúde*, Brasília, v. 25, n. 4, p. 745–754, 2016. DOI: 10.5123/S1679-49742016000400008.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. Manual de normas e procedimentos para vacinação. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2014. 176 p.
- MOURA, L. de L. et al. Tendência temporal da taxa de abandono e da cobertura da vacina tríplice viral no Brasil, 2014-2021. *Epidemiol. Serv. Saúde* [online], Rio de Janeiro, v. 32, e2023117, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/mS6xyfQbkzvK4TfRcsN5HCs/?lang=pt>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- MUHOZA, P.; DANOVARO-HOLLIDAY, M. C.; DIALLO, M. S.; MURPHY, P.; SODHA, S. V.; REQUEJO, J. H. et al. Routine vaccination coverage – worldwide, 2020. *MMWR Morb. Mortal Wkly. Rep.*, Atlanta, v. 70, n. 43, p. 1495–1500, 29 out. 2021. DOI: 10.15585/mmwr.mm7043a1.
- SATO, A. P. S. Qual a importância da hesitação vacinal na queda das coberturas vacinais no Brasil? *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v. 52, p. 96, 2018. DOI: 10.11606/S1518-8787.2018052001199.
- SOUSA, I. S. et al. Avaliação da cobertura vacinal no primeiro ano de vida no Brasil: uma série temporal. *Contrib. Ciênc. Soc.*, São José dos Pinhais, v. 17, n. 9, e10370, set. 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.9-090.