

Casos de Covid-19 no Brasil

Esmerindo Bernardes*
Instituto de Física de São Carlos
Universidade de São Paulo
São Carlos, SP, Brazil

26 de março de 2024

Resumo

Casos de contaminações e mortes por Covid-19 no Brasil são analisados através de curvas suaves formadas por uma superposição linear de funções hiperbólicas. Esta análise permite a identificação de um número desejado de ondas bem como suas taxas.

1 Modelo

A quantidade de casos acumulados ao longo de N semanas em um conjunto de dados de Covid19 contendo l ondas é descrito por uma superposição linear de tangentes hiperbólicas,

$$Z_N^l(n) = \sum_{i=1}^l b_i \tanh(a_i n - c_i) + \delta, \quad (1)$$

onde n é uma dada semana e $\{a_i, b_i, c_i, \delta\}$ são parâmetros arbitrários. Estes parâmetros são escolhidos de forma a se ter a melhor descrição dos dados observados. Numa linguagem cinemática, a função modelo (??) descreve a posição num movimento retilíneo e a semana n faz o papel do tempo.

As taxas de crescimento dos casos acumulados semanalmente mostram o quão sério é um determinado momento. A primeira taxa é a velocidade,

$$V(n) = \frac{dZ}{dn} = \sum_{i=1}^l \frac{a_i b_i}{\cosh^2(a_i n - c_i)}. \quad (2)$$

*sousa@ifsc.usp.br

Ela representa os casos acumulados por semana e, por isso, é sempre positiva. A quantidade de casos por semana é reportada periodicamente pelos órgãos governamentais responsáveis. Assim, a função modelo (??) proporciona a melhor forma de determinação dos parâmetros $\{a_i, b_i, c_i\}$.

A segunda taxa de crescimento é a aceleração,

$$A(n) = \frac{dV}{dn} = \frac{d^2Z}{dn^2} = -2 \sum_{i=1}^l a_i^2 b_i \frac{\sinh(a_i n - c_i)}{\cosh^3(a_i n - c_i)}, \quad (3)$$

a qual hora atua como um freio (negativa), reduzindo a velocidade, hora atua como um acelerador (positiva), aumentando a velocidade.

2 Optimização

Os parâmetros $\{a_i, b_i, c_i\}$ presentes na função modelo (??) são determinados por uma optimização não-linear minimizando a diferença entre os valores calculados pela função modelo (??) e os dados observados semanalmente. Estas diferenças produzem um parâmetro de controle do processo de optimização, denominado de desvio médio quadrático (*rms*), o qual é reportado junto com os demais parâmetros. Em geral, quanto mais ondas, melhor a descrição destas curvas suaves, *i.e.*, menor o desvio médio quadrático. No entanto, buscaremos por curvas suaves com o menor desvio médio quadrático e com um número de ondas condizente com o número de variantes mais ativas.

Dadas as propriedades da função modelo (??), algumas restrições podem ser impostas sobre os parâmetros $\{a_i, b_i, c_i\}$. Como cada onda em (??) é estritamente positiva, os parâmetros a_i e b_i precisam ter os mesmos sinais. Cada onda em (??) tem um pico na semana c_i/a_i . Assim podemos impor que a razão c_i/a_i seja menor que o total N de semanas considerado, $c_i/a_i < N$. Como N é positivo, a_i e c_i precisam ter os mesmos sinais. Observamos que podemos escolher a_i, b_i e c_i positivos e $a_i < 1$. Esta última restrição é justificada pela forma linear de uma tangente hiperbólica em (??) em torno de seu ponto de inflexão c_i/a_i , com um coeficiente angular menor que 90 graus, o que implica também em $a_i > 0$.

Os dados de contaminações e mortes são obtidos diretamente da plataforma Coronavírus Brasil¹, mantido pelo Ministério da Saúde. Os dados vacinais são obtidos do Vacinômetro Covid-19 Brasil², mantido pelo Ministério da Saúde.

¹<https://covid.saude.gov.br/>

²https://infoms.saude.gov.br/extensions/SEIDIGI_DEMAS_Vacina_C19/SEIDIGI_DEMAS_Vacina_C19.html

3 Contaminações

Devido a enormes diferenças nas intensidades de algumas ondas, melhor separar os dados de contaminações em três partes. A primeira parte inicia com a semana um em 29 de Fevereiro de 2020 e termina na semana $N = 96$. A Figura ?? mostra os casos de contaminações observados por semana (barras verticais), uma curva suave descrevendo estes casos, e as vacinas aplicadas (círculos). A vacinação no Brasil se iniciou na semana 46. Esta curva $Z_{96}(n)$ possui um desvio médio quadrático um pouco abaixo de 24000.

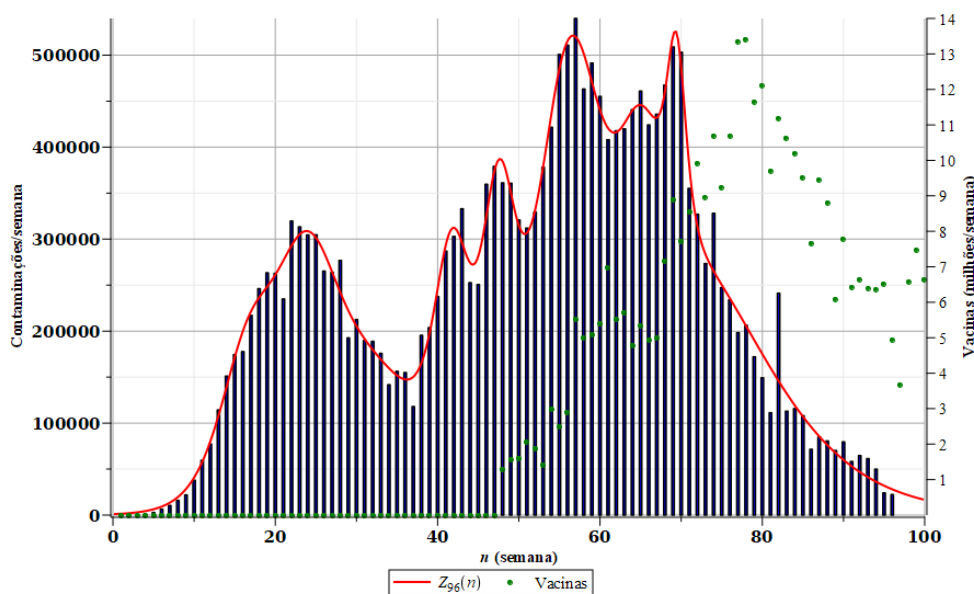


Figura 1: Casos semanais de infecções por Covid-19 no Brasil (barras e a curva suave) e vacinas (círculos) até a semana 96.

Esta primeira parte é descrita pela superposição de nove ondas ($l = 9$), como mostrado na Figura ?? . A cada onda se pode associar uma variante ou subvariantes do vírus da Covid19. A curva $Z_{96}(n)$ (linha grossa) é a soma das nove outras curvas mostradas na Figura ?? . Note as duas ondas com picos em torno de $n = 70$ mas com larguras e intensidades muito diferentes.

Nem sempre a adição de mais ondas acarreta numa curva melhor. A Figura ?? mostra o uso de dez ondas. O desvio médio quadrático é praticamente o mesmo do caso com nove ondas. Comparando com a Figura ?? , podemos ver que as duas ondas com seus picos em torno $n = 70$, portanto quase degeneradas, transformaram-se em três ondas em torno $n = 70$. É como se a quase degenerescência anterior tivesse sido levantada. Muito provavelmente esta décima onda seja apenas um reflexo das oscilações inerentes à coleta de dados.

A Figura ?? mostra a segunda parte das contaminações no Brasil, entre as semanas 97 e 153. Esta segunda parte contém a variante Ômicron, representada

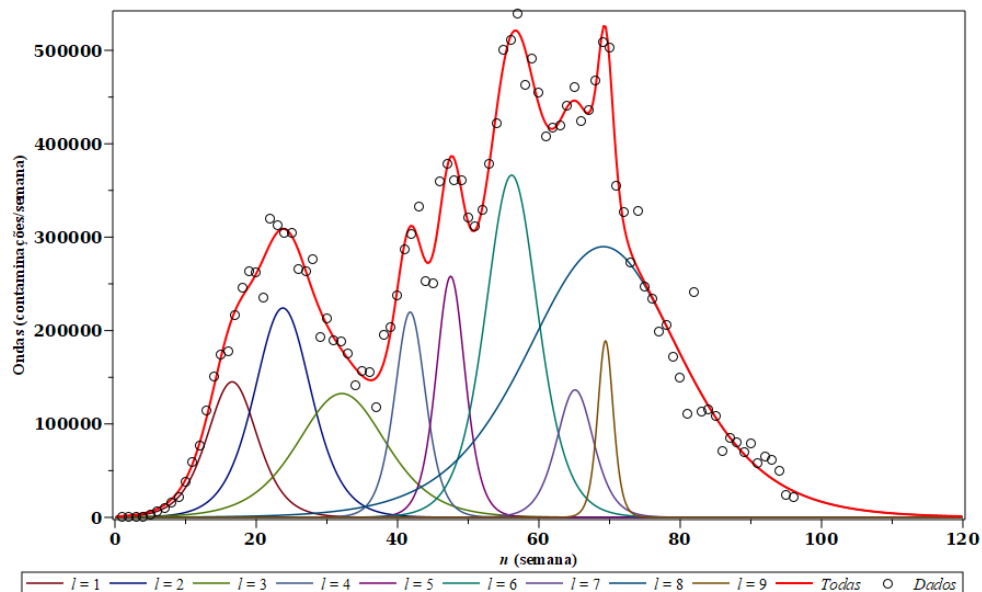


Figura 2: Nove ondas compondo a função suave descrevendo os casos semanais (Dados) de infecções por Covid-19 no Brasil até a semana 96.

pele pico mais intenso. Nota-se uma tendência de queda na taxa vacinal desde o final da primeira parte (Figura ??), mantida mesmo com a presença da variante Ômicron.

Esta segunda parte é descrita por seis ondas, como mostrado na Figura ?. A onda mais intensa é a variante Ômicron representada pela primeira onda $l = 1$ com um pico em torno de $n = 100$. Este pico, impressionantemente, ultrapassou um milhão de casos por semana. Felizmente o tempo de vida (largura) desta variante Ômicron não foi longo. Podemos ver outra degenerescência de picos em torno de $n = 124$.

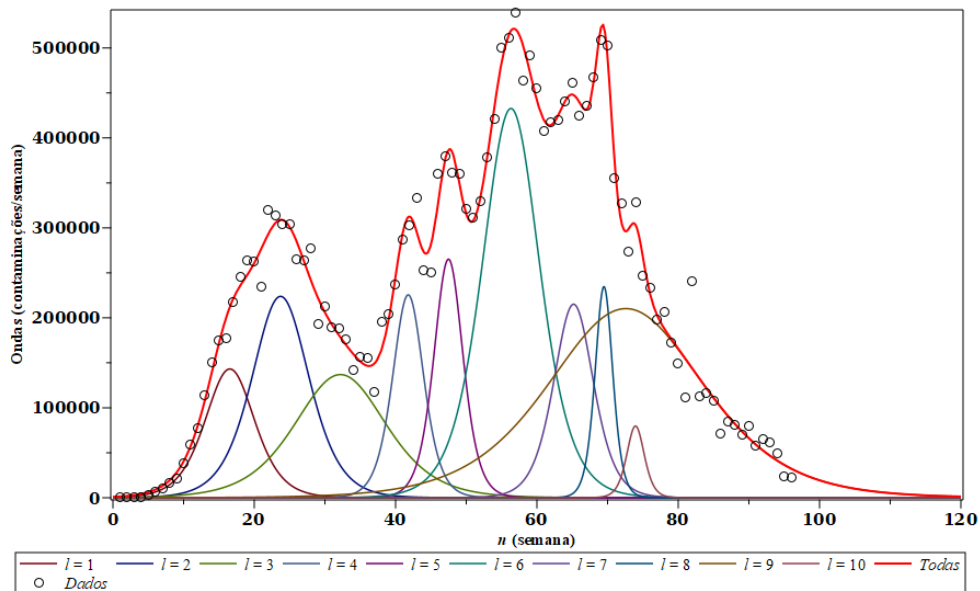


Figura 3: Dez ondas compondo a função suave descrevendo os casos semanais (Dados) de infecções por Covid-19 no Brasil até a semana 96.

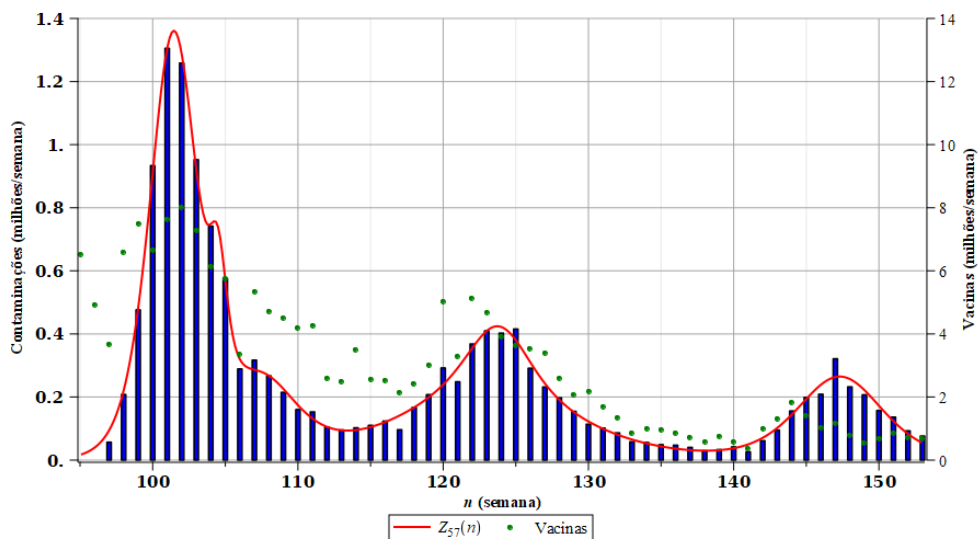


Figura 4: Casos semanais de infecções por Covid-19 no Brasil (barras e curva suave) e vacinas (círculos) entre as semanas 97 e 153.

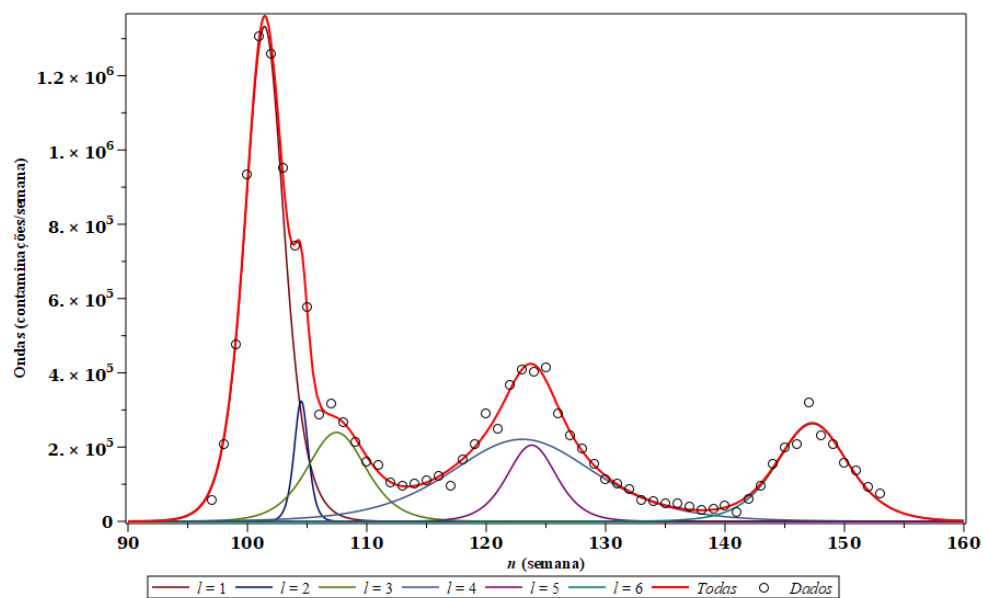


Figura 5: As seis ondas compondo a função suave descrevendo os casos semanais (Dados) de infecções por Covid-19 no Brasil entre as semanas 97 e 153.