

Modelagem da Pandemia do COVID-19 na Suécia

João Pedro de Abreu Marciano

1 Introdução

Desde o início da pandemia, países têm tomado diferentes medidas para diminuir a transmissão da doença enquanto não há vacinas ou tratamentos altamente efetivos. Isso é necessário pelos altos índices de hospitalização e mortos da doença.

A Suécia foi um dos países que divergiu da maioria dos outros países da Europa na estratégia de mitigação da pandemia. O país decidiu não fazer o lockdown, utilizou poucas medidas mandatórias e priorizou incitar a responsabilidade individual na população. Há alguns estudos que comparam como essa abordagem se saiu em comparação com a de outros países.

No geral, ela não foi boa como demonstrado em [4]. E, além disso, o artigo [2] apresenta como não houve diferenças extremamente significativas na movimentação econômica do país em relação a seus países vizinhos.

Apesar disso, a chamada de segunda onda do vírus, que tem ocorrido em grande parte dos países europeus, não está ocorrendo na Suécia atualmente. O país possui uma das menores médias de infectados diários per capita do continente europeu.

A situação atual do país é de leve crescimento no número de infectados e menos de 5 mortes diárias.

Há alguns artigos que modelaram a transmissão doença na Suécia. Abaixo segue um pequeno resumo de alguns deles.

Em [4], o principal objetivo do trabalho é modelar como outras medidas de mitigação se saíam em comparação com outras medidas que poderiam ser tomadas.

O gráfico abaixo presente no artigo é um dos resultados.

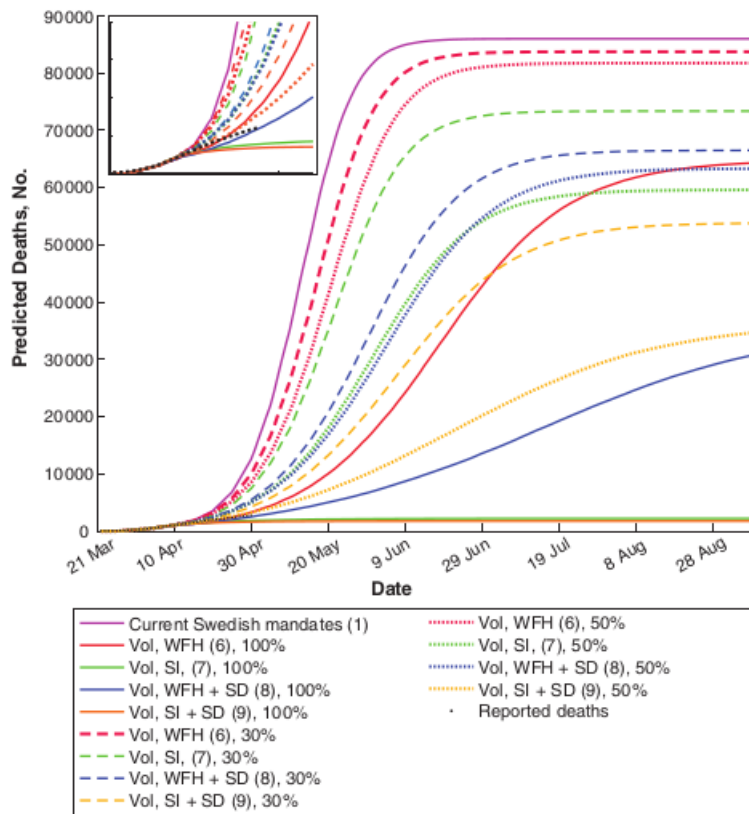


Figura 1: Predicted coronavirus disease 2019 (COVID-19) deaths in Sweden with different voluntary adherence strategies. Plotted are median numbers of COVID-19 deaths predicted by modeling current Swedish public health mandates and individual voluntary behaviors. These are compared against reported COVID-19 deaths in Sweden. A moderate level of individual self-isolation (SI) is sufficient to well reproduce the reported death tolls. Data are shown for 3-day doubling times (see Supplementary Figures 4 and 5 for alternates). Numbers in parentheses represent interventions listed in Methods. April predictions are enlarged in the inset. Abbreviation: SD, social distancing; Vol, Voluntary; WFH, work from home. Fonte: [4].

Outro trabalho é [7] em que são utilizados os modelos SI e SIR para modelar o início da pandemia no país, já que o artigo é de 6 de abril de 2020. Os resultados foram bem satisfatórios para os dados disponíveis na época.

Os dois trabalhos que são a principal inspiração para este são os [6] e [5] dos mesmos autores. No primeiro artigo eles introduzem o modelo forced-SIR (FSIR) que será mais detalhado na seção 2, e com ele modelam de maneira bem

satisfatória os primeiros 100 dias da pandemia. No segundo artigo, os autores percebem que as diferentes intervenções governamentais e as disseminações centralizadas em diferentes centros urbanos geram um comportamento de múltiplas ondas epidêmicas nos dados, chamadas de subepidemias (veja 2). Dado isso, eles estendem o modelo FSIR para um modelo de multiplas ondas. Este será o modelo utilizado neste artigo e será mais aprofundado na seção 2.

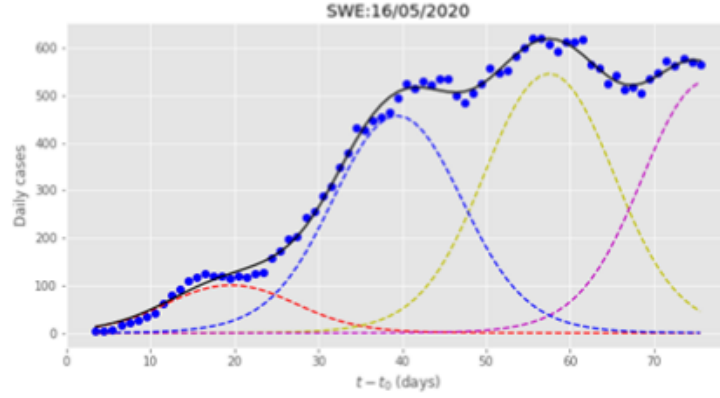


Figura 2: Subepidemias na Suécia. Fonte: [5]

2 Metodologia

Primeiro será necessário apresentar o modelo forced-SIR (FSIR) introduzido em [6]. Este modelo é uma adaptação do modelo SIR. Na verdade, a transmissão do coronavírus se assemelha aos compartimentos do modelo SEIR, mas, por simplicidade, vamos considerar I do modelo SIR como um acoplamento dos compartimentos E e I do modelo SEIR. Vamos considerar também uma população fixa N . Temos então os seguintes compartimentos

- $S(t)$ indivíduos suscetíveis a doença;
- $I(t)$ indivíduos infectados ou infecciosos;
- $R(t)$ indivíduos removidos do grupo de infectados, seja adquirindo imunidade ou falecendo.

E o modelo SIR possui dois parâmetros $\beta, \gamma > 0$:

- β descreve a taxa efetiva de contato da doença. Um indivíduo infectado entra em contato com β outros indivíduos por unidade de tempo;
- γ é a taxa média de remoção, ou seja, $\frac{1}{\gamma}$ é o período médio de tempo durante o qual um indivíduo infectado pode transmitir a doença antes de ser removido.

O comportamento do modelo SIR é descrito pelas equações diferenciais:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta I \frac{S}{N} \\ \frac{dI}{dt} &= \beta I \frac{S}{N} - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I\end{aligned}$$

Muito trabalhos tem tentado fazer os parâmetros como função do tempo para modelar a pandemia. O [6] é um deles. Colocando um decaimento exponencial em β , baseado nas soluções numéricas, os autores estimaram como seriam as soluções de forma bem simples. β com decaimento exponencial modela muito bem o chamado de "achatamento" da curva. Assim, chegaram no seguinte resultado:

$$\begin{aligned}\tilde{S} &= N - \frac{N'}{1 + e^{-\alpha_1(t-t_1)}} \\ \tilde{R} &= \frac{N'}{1 + e^{-\alpha_2(t-t_2)}} \\ \tilde{I} &= \frac{N'}{1 + e^{-\alpha_1(t-t_1)}} - \frac{N'}{1 + e^{-\alpha_2(t-t_2)}}\end{aligned}$$

onde $N', \alpha_1, \alpha_2, t_1, t_2$ são tratados como parâmetros ajustáveis, com t_1 e t_2 sendo os tempos em que as populações \tilde{S} e \tilde{R} atingem o ponto médio dos sigmóides, respectivamente. A taxa de diminuição da população suscetível é capturada pelo valor de α_1 e a taxa de aumento da população removida é capturada pelo valor de α_2 .

Este é um modelo simples e de extrema eficácia. O modelo que será utilizado neste trabalho é o Multiple Wave Forced-SIR introduzido em [5]. Nesse modelo, decidiremos manualmente quantas curvas do modelo FSIR se adequam aos dados. Após isso, um método de otimização será utilizado para cada um dos parâmetros de cada uma das curvas de forma que a soma delas represente o comportamento apresentado nos dados.

Optamos por utilizar este modelo no trabalho, pois sua adequação aos dados se mostrou fácil e efetiva. Além disso, como as intervenções governamentais na Suécia foram diferentes das adotadas no restante do mundo, modelá-las seria mais complicado. Esse modelo consegue simular de maneira satisfatória, apenas baseado nos dados, essas intervenções, já que isso é capturado pelas múltiplas ondas.

Para a próxima seção, os dados serão retirados do csv disponibilizado pelo [Our World in Data](#) ([1])

3 Resultados

Com as equações da seção anterior, podemos substituí-las nas EDO's e encontrar as seguintes funções:

$$\beta(t) = \frac{\alpha}{e^{\alpha\Delta t} - 1} \left(\frac{1 + e^{-\alpha(t-t_1)}e^{\alpha\Delta t}}{1 - n' + e^{-\alpha(t-t_1)}} \right)$$

$$\gamma(t) = \frac{\alpha}{1 - e^{-\alpha\Delta t}} \left(\frac{1 + e^{-\alpha(t-t_1)}}{1 + e^{-\alpha(t-t_1)}e^{\alpha\Delta t}} \right)$$

onde $n' = N'/N$

E com essas funções conseguiremos aproximar o valor R_0 numericamente para o nosso modelo. De fato, como foi feito em [6], analisa-se os limites de n' , para os valores relevantes de t .

Aplicando o modelo no Sage obtemos os seguintes gráficos:

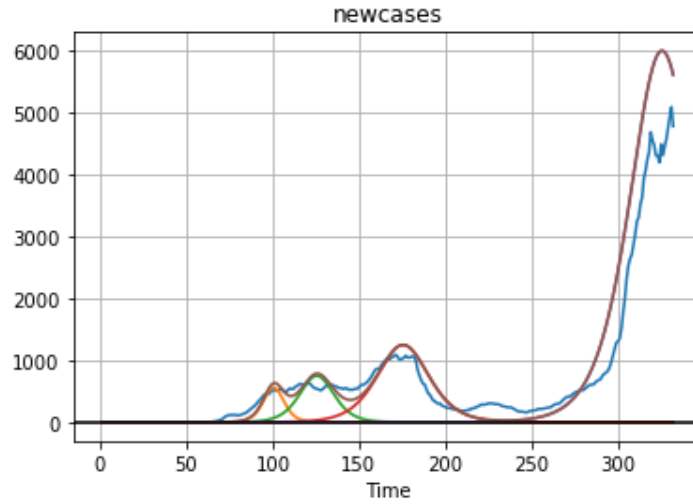


Figura 3: Novos Casos

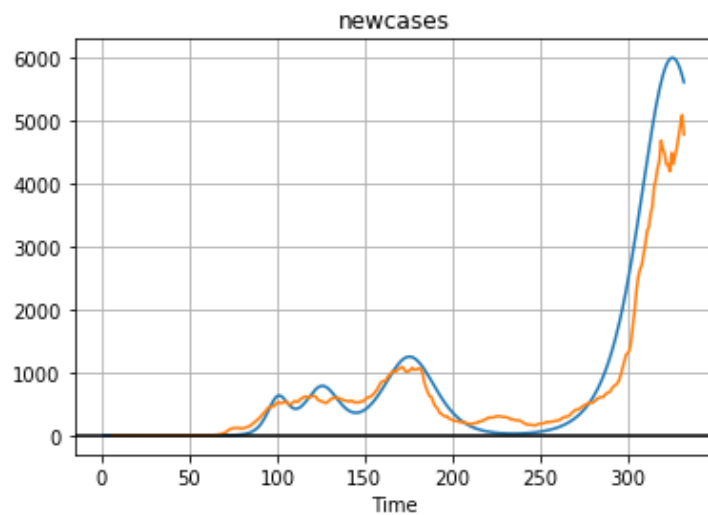


Figura 4: Novos Casos Soma

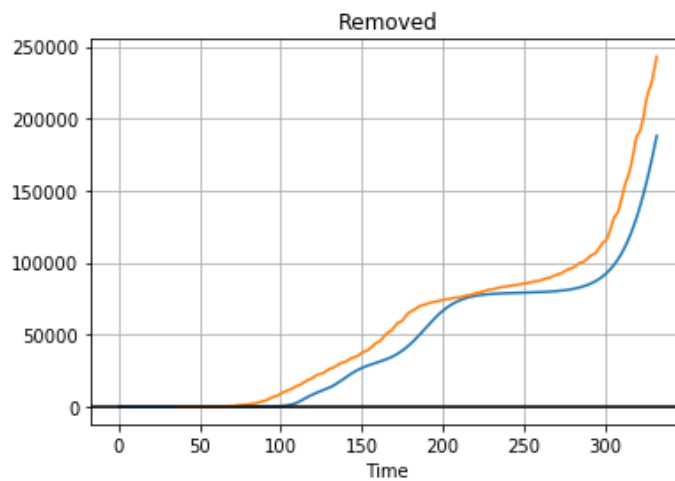


Figura 5: Total de Casos / Removidos

Na figura 3 foram escolhidas manualmente 4 ondas (em laranja, verde, vermelho e roxo) para aproximar os dados (em azul) de novos casos. Mesmo com ajuste bruto nos parâmetros o resultado foi razoável. Na figura 4, compara-se a soma das ondas (em azul) com os dados reais (em laranja). E, por fim, na figura 5 comparamos os gráficos de removidos do modelo (em azul) com os dados reais de total de casos (em azul).

Com o este modelo é possível tentar fazer uma previsão de curto prazo como na figura abaixo:

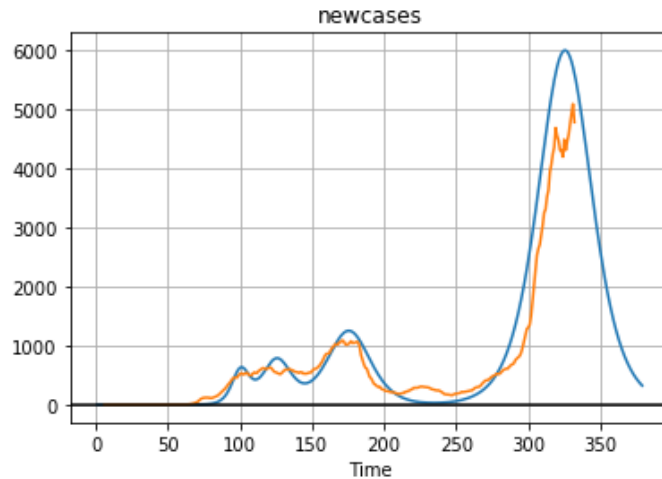


Figura 6: Previsão de novos casos

A longo prazo a previsão não seria muito boa nesse caso, mas na próxima seção apresentamos uma proposta de estudo para tentar prever utilizando este modelo

4 Discussão e Conclusão

O modelo no geral é bem simples e impressionantemente preciso mesmo com ajustes brutos nos parâmetros.

Um possível desenvolvimento do modelo seria utilizar uma forma analítica de otimizar a quantidade de ondas a serem utilizadas. Dessa forma seria possível também tentar fazer um estudo da distribuição dessas ondas para prever distribuição de próximas ondas para previsão a longo prazo.

Referências

- [1] Our world in data.
- [2] Asger Lau Andersen, Emil Toft Hansen, Niels Johannesen, and Adam Sheridan. Pandemic, shutdown and consumer spending: Lessons from scandinavian policy responses to covid-19, 2020.
- [3] Behzad Iravani, Artin Arshamian, Aharon Ravia, Eva Mishor, Kobi Snitz, Sagit Shushan, Yehudah Roth, Ofer Perl, Danielle Honigstein, Reut Weissgross, Shiri Karagach, Gernot Ernst, Masako Okamoto, Zachary Mainen,

- Erminio Monteleone, Caterina Dinnella, Sara Spinelli, Franklin Mariño-Sánchez, Camille Ferdenzi, Monique Smeets, Kazushige Touhara, Moustafa Bensafi, Thomas Hummel, Noam Sobel, and Johan N Lundström. Relationship Between Odor Intensity Estimates and COVID-19 Prevalence Prediction in a Swedish Population. *Chemical Senses*, 45(6):449–456, 05 2020.
- [4] Shina C L Kamerlin and Peter M Kasson. Managing Coronavirus Disease 2019 Spread With Voluntary Public Health Measures: Sweden as a Case Study for Pandemic Control. *Clinical Infectious Diseases*, 07 2020. ciaa864.
- [5] Efthimios Kaxiras and Georgios Neofotistos. Multiple epidemic wave model of the covid-19 pandemic: Modeling study. *J Med Internet Res*, 22(7):e20912, Jul 2020.
- [6] Efthimios Kaxiras, Georgios Neofotistos, and Eleni Angelaki. The first 100 days: Modeling the evolution of the covid-19 pandemic. *Chaos, Solitons Fractals*, 138:110114, 2020.
- [7] Chong Qi, Daniel Karlsson, Karl Sallmen, and Ramon Wyss. Model studies on the covid-19 pandemic in sweden, 2020.