



Evento: XXVI Jornada de Pesquisa

APLICAÇÃO DO MODELO SIR PARA CARACTERIZAR OS CASOS DE COVID-19 NO MUNICÍPIO DE IJUÍ, RIO GRANDE DO SUL¹

APPLICATION OF THE SIR MODEL TO CHARACTERIZE THE CASES OF COVID-19 IN THE MUNICIPALITY OF IJUÍ, RIO GRANDE DO SUL

Matheus Reis de Almeida², Airam Sausen³, Paulo Sérgio Sausen⁴, Maurício de Campos⁵

¹ Artigo científico desenvolvido em disciplina do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, desenvolvido na UNIJUI;

² Estudante do Curso de Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUI;

³ Professora do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUI;

⁴ Professor do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUI;

⁵ Professor do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUI.

RESUMO

Neste artigo é realizada a aplicação do modelo Suscetível - Infectado – Recuperado (SIR) com o objetivo de descrever o número de infectados pela COVID-19 no município de Ijuí a partir de dados reais. Os dados são obtidos do Painel COVID-19 do município, disponibilizado no site da prefeitura. As simulações são desenvolvidas no *software* Matlab utilizando a função *ode45*. A partir dos resultados das simulações observou-se que o modelo descreve adequadamente o número de infectados pela COVID-19 no município, com taxa de reprodutibilidade basal de $R_0=1,25$.

Palavras-chave: Modelagem Matemática. Covid-19. Modelo SIR.

ABSTRACT

In this paper, the Susceptible - Infected - Recovered (SIR) model is applied in order to describe the number of infected by COVID-19 in the municipality of Ijuí based on real data. Data are obtained from the municipality's COVID-19 Panel, available on the city's website. Simulations are developed in Matlab software using the *ode45* function. From the simulation results, it is observed that the model adequately describes the number of infected by COVID-19 in the city, with a baseline reproducibility rate of $R_0=1.25$.

Palavras-chave: Modelagem Matemática. Covid-19. Modelo SIR.

INTRODUÇÃO

Em 31 de dezembro de 2019 o comitê municipal de saúde da cidade de Wuhan, na China, reportou os primeiros 27 casos de uma infecção respiratória causada por um novo tipo de coronavírus denominado SARS-COV-2. Posteriormente, a doença foi oficialmente nomeada COVID-19 pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (CHEN et al, 2020). Com rápida taxa de transmissibilidade, rapidamente o surto epidêmico atingiu escala global, e em



30 de janeiro de 2020, foi elevado ao status de pandemia pela OMS. Desde então, surgem esforços em várias esferas para controlar a doença, e modelar matematicamente o processo de disseminação do vírus possibilitando gerar estimativas e traçar estratégias de combate a COVID-19 (MONTANHEIRO, DARTORA, 2020).

Modelos matemáticos são ferramentas já consagradas no controle de doenças infecciosas. Compreender padrões e frequências de eventos relacionados ao processo de disseminação de enfermidades permite otimizar o uso de recursos limitados e orienta a seleção das medidas de controle (ALMEIDA, 2014).

Dentre esses, o modelo Suscetível - Infectado – Recuperado (SIR), introduzido por W. Kermack e A. McKendrick, é recorrente na literatura inclusive sendo utilizado para modelar o número de infectados pela COVID-19. Neste modelo a população é dividida em subgrupos de indivíduos suscetíveis, infectados e recuperados da doença. O comportamento de cada subgrupo é descrito por uma Equação Diferencial Ordinária (EDO) (SILVA, 2020). Na literatura também são encontradas variantes do modelo SIR, tais como, os modelos SIRD e SEIRD, que tornam a modelagem mais sofisticada ou mais adequada a uma ou outra situação (WEISS, 2013).

Neste artigo foi realizada a aplicação do modelo SIR para a modelagem matemática da COVID-19 a partir do número de infectados no município de Ijuí, entre os dias 18/03/2020 e 06/06/2020. Os dados foram obtidos do Painel COVID-19 do município, disponibilizado pelo site da prefeitura. Para simulação foi desenvolvido um *script* no *software* MatLab utilizando a função *ode45*. Também foram realizadas simulações buscando ajustar as curvas simuladas com aquelas obtidas a partir dos dados reais, esse ajuste ocorreu com base nos parâmetros utilizados por HECK et al (2021), SILVA (2020) e MONTANHEIRO e DARTORA (2020).

MODELO MATEMÁTICO

O modelo SIR consiste de um sistema de EDOs apresentado nas equações (1)-(3). Cada equação descreve o comportamento de um subgrupo populacional, ou seja, suscetíveis (S), infectados (I) e recuperados (R), da doença. Para qualquer tempo, a população total de N indivíduos deve ser igual ao somatório dos subgrupos S, I e R, logo $N=S+I+R$. O modelo também supõe que os recuperados não podem ser reinfectados (WEISS, 2013).



$$\frac{dS}{dt} = \frac{-\beta SI}{N}$$

(1)

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \gamma I \quad (2)$$

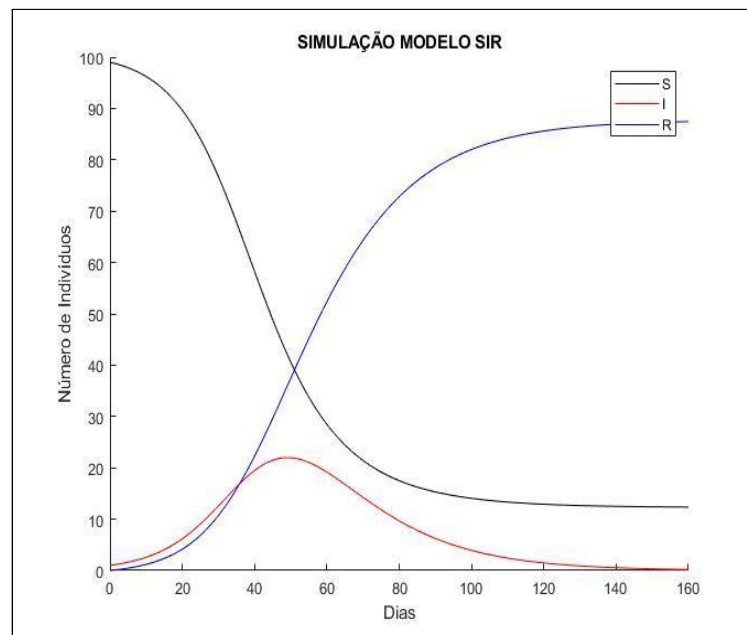
$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad (3)$$

onde: β e γ são parâmetros que correspondem respectivamente a taxa de transmissão (i.e., número médio de indivíduos que podem ser infectados a partir de um único infectado) e a taxa de recuperação (WEISS, 2013). Usualmente, esses estão contidos em um terceiro fator denominado taxa de reprodutibilidade basal (i.e., R_0), que estima o número de casos que seriam provocados em função de um indivíduo infectado ser introduzido em uma população inteiramente suscetível a doença (SILVA, 2020). Segundo LONDOÑO (2014), para o modelo SIR, R_0 é dado por:

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma} . \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção são apresentados os resultados da simulação do modelo SIR. Na Figura 1 é apresentada a dinâmica do modelo SIR a partir de uma população hipotética de 100 indivíduos, com a seguinte condição inicial: $S=99$ indivíduos suscetíveis a doença, $I=1$ indivíduo infectado, $\beta=0,17$, e $\gamma=0,7142$.

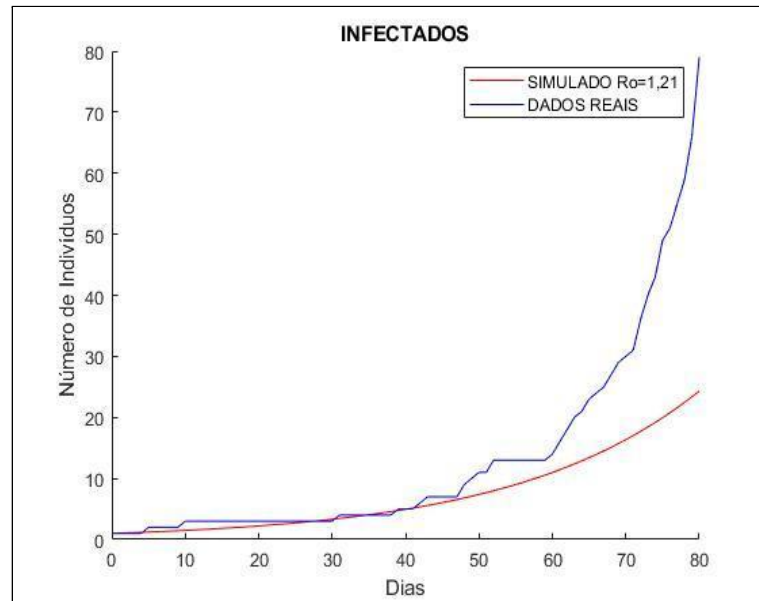


Fonte: Autor

Figura 1 - Simulação do modelo SIR.

Com o passar dos dias observa-se na Figura 1 que o número de indivíduos infectados cresce exponencialmente até atingir um pico e então começa a decrescer (i.e, curva vermelha). A curva de indivíduos suscetíveis à doença diminui à medida que os indivíduos vão sendo contaminados (i.e., curva preta), e a dos recuperados aumenta (i.e., curva azul). Ao final, a doença teoricamente se extingue, ficando uma parcela de indivíduos suscetíveis que não chegaram a ser infectados e outra que foi infectada e se recuperou. O modelo SIR não contabiliza as mortes ocorridas em função da doença, mas, uma vez implementado é relativamente simples adaptá-lo para inclusão de outros parâmetros.

Na Figura 2 são apresentados os resultados para a cidade de Ijuí. Segundo o Painel COVID-19 Ijuí, a estimativa populacional para o município é de 83.475 habitantes. Observa-se também que o Painel COVID-19 Ijuí apresenta o número de indivíduos recuperados e em recuperação, uma vez que os indivíduos em recuperação estejam em quarentena, não podem infectar os demais, portanto os mesmos foram incluídos no subgrupo dos recuperados. De acordo com a mesma fonte, o primeiro caso confirmado de COVID-19 ocorreu em 18 de março de 2020, e o primeiro óbito em decorrência da doença aconteceu 83 dias depois, em 9 de junho de 2020.

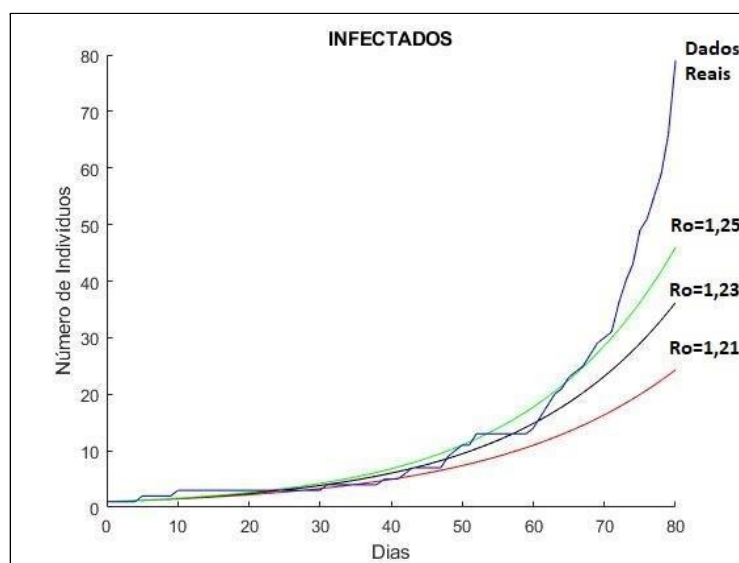


Fonte: Autor

Figura 2 - Simulação COVID-19 em Ijuí entre dias 18/03/20 e 06/06/20.

Nesse caso, na Figura 2 são apresentados os resultados simulados pelo modelo para o número de infectados entre o dia 0 e o dia 80 (i.e., até 06 de junho de 2020), visto que nesse período havia somente pessoas suscetíveis, infectadas e recuperadas da doença. Como condição inicial foi considerado $S=83.474$ indivíduos suscetíveis a doença, $I=1$ indivíduo infectado, $R_0=1,21$, $\beta=0,23$ e $\gamma=0,19$. Considerando os resultados encontrados, verifica-se que o modelo SIR descreveu adequadamente o número real de infectados do município até o dia 40 (27/04/20), onde a curva simulada pelo modelo (i.e., em vermelho) está muito próxima dos dados reais (i.e., em azul). Após o dia 40, os casos de COVID-19 começaram a aumentar de forma mais acentuada indicando uma maior taxa de transmissibilidade.

Esse novo cenário foi confirmado a partir dos resultados das simulações apresentadas na Figura 3, onde novos valores para o parâmetro R_0 tiveram que ser obtidos, ou seja, $R_0=1,23$ para $\beta=0,235$ e $\gamma=0,19$; e $R_0=1,25$ para $\beta=0,238$ e $\gamma=0,19$.



Fonte: Autor

Figura 3 - Simulação COVID-19 em Ijuí com diferentes valores de R_0 .

De modo geral, a dinâmica do modelo SIR pode ser utilizada para descrever adequadamente o processo de propagação da COVID-19 no município de Ijuí com melhores resultados para a taxa de reprodutibilidade basal igual a $R_0=1,25$. Observa-se que são cabíveis estudos mais pormenorizados, com tratamento estatístico dos dados e em outros períodos da doença, com a estimativa de novos parâmetros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo foi realizada a aplicação do modelo SIR para descrever o número de infectados por COVID-19 no município de Ijuí, no período de 18 de março de 2020 a 6 junho de 2020. Observa-se que o modelo descreve adequadamente o número de infectados pela COVID-19 no município para $R_0=1,25$. No entanto, a modelagem deve ser contínua, pois os parâmetros de transmissibilidade variam e, conseqüentemente, geram-se com passar do tempo novas estimativas. Como trabalhos futuros, é sugerido obter novas taxas de transmissibilidade, assim como introduzir o número de óbitos pela COVID-19 no modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- ALMEIDA, Priscila Roque de. **Modelos Epidêmicos SIR, contínuos e discretos e estratégias de vacinação.** Dissertação de Pós-Graduação em Matemática – Universidade Federal de Viçosa, 2014. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/4933>>
- CHEN, Ze Liang et al. **Distribution of the Covid-19 epidemic and correlation with population emigration from Wuhan, China.** Chinese Medical Journal, 2020. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7147281/>>
- HECK, Thiago Gomes, et al. **Insufficient social distancing may contribute to COVID-19 outbreak: The Case of Ijuí City in Brazil.** Plos One, 2021. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article/authors?id=10.1371/journal.pone.0246520>>
- LONDOÑO, Sergio Luis Mercado. **Estimação do número de reprodução basal em modelos compartimentais.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/305840/1/MercadoLondono_SergioLuis_M.pdf>
- MONTANHEIRO, Lécio; DARTORA, Cesar. **Characterizing COVID-19 epidemics dissemination and previsions for Curitiba, Brazil using a modified SIR model.** Scielo Preprints, 2020. Disponível em: <<https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/1094>>
- SILVA, Rafael M. da. **Usando modelo SIRD para caracterizar a disseminação da COVID-19 nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Scielo Preprints, 2020. Disponível em: <<https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/764/version/805>>
- WEISS, Howard. **The SIR model and the foundations of public health.** Materials Matemáticas. Universidade Autônoma de Barcelona, 2013. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/The-SIR-model-and-the-Foundations-of-Public-Health-Ross-Hamer/134be53c9b3e695c2be5095955561250d3740b5f>>