

Estimativa do impacto do grau de distanciamento social no número de casos e óbitos decorrentes da COVID-19

Tales A. Jesus^{1,2}, Rodrigo T. N. Cardoso^{1,2}, J. L. Acebal^{1,2}, Josenildo S. Lima^{1,2}, Everthon S. Oliveira^{2,3}, and Tiago F. Paulino^{2,3}

¹Grupo de Pesquisa em Modelagem de Problemas Biológicos.

²Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Av. Amazonas, 7675, 30510-000, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³Sociedade Brasileira de Cientistas Católicos, Avenida Cardeal da Silva, 205, 40231-250, Salvador, BA, Brasil.

25 de abril de 2020

1 Introdução

É comprovado que o distanciamento por grupo social ou categoria reduz a velocidade de transmissão de uma doença em estado epidêmico. Estudos semelhantes costumam avaliar quais grupos sociais e com qual intensidade poderiam ficar isolados a fim de se obter um estado endêmico ou mesmo a erradicação da doença.

A partir de 21/03/2020, as dioceses brasileiras passaram a suspender as missas e celebrações em suas paróquias, como medida de isolamento social para conter o avanço da epidemia de COVID-19, doença infecciosa transmitida pelo novo coronavírus [1]. Este trabalho procura estimar o efeito que se obteve na desaceleração da epidemia no Brasil exclusivamente a partir desta decisão. Especificamente, analisa-se como a redução parcial dos contatos de um grupo específico, no caso, os católicos com presença semanal às missas, pode reduzir o número absoluto de infectados e mortos no país, o valor do pico da epidemia, bem como atrasar o pico da epidemia.

Para isso, adaptou-se um modelo compartimental SIR (Suscetíveis, Infectados, Recuperados) [2], formado por equações diferenciais ordinárias, para considerar um compartimento explícito para categoria de pessoas em distanciamento social, as que deixaram de ir às missas, e outra para a quantidade de pessoas mortas pela epidemia. Baseou-se em dados reais oficiais da epidemia de COVID-19 no país, bem como em estatísticas da população

católica. Dentro das hipóteses e casos considerados nesta estimativa, os resultados apontam que apenas essa medida pode ter sido responsável pela redução de 2,6% no número de casos de infecção e mortes no país e pela redução de cerca de 9,7% do número de casos de hospitalização simultâneos durante o pico da epidemia.

2 Modelo Matemático STIRM

Esta seção apresenta o modelo matemático epidemiológico que descreve o espalhamento da COVID-19, a infecção causada pelo novo coronavírus. O modelo matemático que avalia a dinâmica temporal é dado por um sistema de equações diferenciais ordinárias não-lineares, chamado de STIRM (Suscetíveis com/sem distanciamento social, Infectados, Recuperados, Mortos), considerando cinco classes de humanos no instante de tempo t .

As variáveis do modelo STIRM são:

- $S(t)$, que representa o número médio de pessoas suscetíveis ao coronavírus em distanciamento social;
- $T(t)$, que representa o número médio de pessoas suscetíveis ao coronavírus que não estão em distanciamento social;
- $I(t)$, que representa o número médio de pessoas infectadas sintomáticas com o coronavírus;
- $R(t)$, que representa o número médio de pessoas recuperadas da COVID-19;
- $M(t)$, que representa o número médio de óbitos pelo coronavírus.

Considere $S^*(t) = S(t) + T(t)$ como sendo o total de indivíduos suscetíveis e $C(t) = I(t) + R(t) + M(t)$ como sendo o total de indivíduos não-suscetíveis. Além disso, $N = S(t) + T(t) + I(t) + R(t) + M(t)$ representa a população inicial.

Os parâmetros do modelo são:

- β_1 , que representa a taxa de infecção das pessoas que estão em distanciamento social;
- β_2 , que representa a taxa de infecção das pessoas que não estão em distanciamento social;
- γ , que representa a taxa de recuperação dos infectados pela epidemia;
- μ , que representa a taxa de mortalidade causada pela epidemia.

O modelo dinâmico STIRM é apresentado na Equação (1).

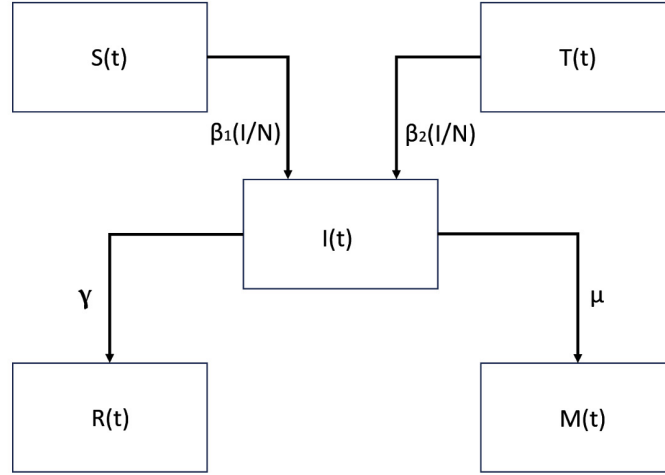


Figura 1: Diagrama do Modelo STIRM.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = -\beta_1 \frac{I}{N} S \\ \frac{dT}{dt} = -\beta_2 \frac{I}{N} T \\ \frac{dI}{dt} = \beta_1 \frac{I}{N} S + \beta_2 \frac{I}{N} T - \gamma I - \mu I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \\ \frac{dM}{dt} = \mu I \end{array} \right. \quad (1)$$

em que os parâmetros $\beta_1, \beta_2, \gamma, \mu \in \mathbb{R}^+$. Na Figura 1, o sistema é apresentado na forma de diagrama.

Os parâmetros β_1 e β_2 relacionam-se com o parâmetro β do modelo SIRM¹, que representa a taxa de infecção global da epidemia. Essa relação é obtida quando se tenta estabelecer uma equivalência entre os modelos SIRM e STIRM. A fim de se garantir tal equivalência, tem-se, por hipótese, que:

$$\beta_1 \frac{I}{N} S + \beta_2 \frac{I}{N} T = \beta \frac{I}{N} (S + T)$$

¹Variante do modelo SIR em que se levam em conta os óbitos M ocasionados pela doença.

Rearranjando-se os termos e considerando-se a condição inicial, tem-se que:

$$\beta_1 S_0 + \beta_2 T_0 = \beta(S_0 + T_0) \quad , \quad \beta_1 + \beta_2 \frac{T_0}{S_0} = \beta \left(1 + \frac{T_0}{S_0} \right). \quad (2)$$

Supondo-se que

$$\beta_1 = m\beta_2, \quad (3)$$

em que m é um parâmetro que varia entre 0 e 1 e representa a razão entre número médio de contatos sociais dos indivíduos do compartimento S (com distanciamento social) e o número médio de contatos sociais dos indivíduos do compartimento T (sem distanciamento social), definindo-se $s = T_0/S_0$, e combinado-se as equações (2) e (3), chega-se às seguintes expressões para β_1 e β_2 :

$$\beta_1 = m\beta \frac{(1+s)}{(m+s)} \quad \text{e} \quad \beta_2 = \beta \frac{(1+s)}{(m+s)} \quad (4)$$

Assim, uma vez definido o valor do parâmetro β por meio de uma otimização baseada em dados reais, o modelo STIRM equivalente é obtido diretamente a partir da Equação (4).

Um outro parâmetro relevante a se definir é o percentual f indivíduos de suscetíveis em isolamento em relação à população inicial total de suscetíveis $S_0^* = S_0 + T_0$. Desse modo, são obtidas as seguintes expressões:

$$f = \frac{S_0}{S_0 + T_0} \quad , \quad 1 - f = \frac{T_0}{S_0 + T_0} \quad \implies \quad s = \frac{1-f}{f}. \quad (5)$$

Esse parâmetro f será utilizado para representar o percentual da população brasileira que deixou de ir às missas a partir do dia 21/03/2020.

3 Estimação dos Parâmetros do Modelo

Inicialmente, para ajustar os parâmetros do modelo STIRM, foram utilizados dados reais fornecidos pelo Ministério da Saúde do Brasil² para o período de 21/03/2020 a 20/04/2020, a partir de quando a maioria das dioceses suspenderam as missas até o presente momento.

A taxa de recuperação γ foi fixada considerando o tempo médio de infecção entre 14 a 16 dias e, depois disso, para encontrar os parâmetros β , μ , N e o valor inicial de infectados I_0 , foi feito um ajuste do modelo SIRM aos dados reais de infectados e mortos pela epidemia por métodos de mínimos quadrados. Para o ajuste, foi considerada a relação entre o número oficial

²Fonte: <https://data.humdata.org/dataset/novel-coronavirus-2019-ncov-cases>, acesso em 21/04/2020.

de infectados e mortos pela infecção e comparamos com os valores de I , R e M do modelo SIRM.

Já para estimar os valores dos parâmetros m e f , foram consideradas estatísticas da população católica. Em 2010, o Brasil contava 64,6% de católicos em uma população total de 190.732.694 de habitantes[1]. Uma pesquisa do Instituto Data-Folha revelou que 51% dos católicos declarados frequentam a missa semanalmente [2]. Portanto, a proporção de brasileiros que deixou de ir às missas após a suspensão pode ser estimada por:

$$f = 0,51 \times 0,646 = 0,33,$$

que corresponde ao percentual da população S_0 , isto é, da população em isolamento parcial.

Considerou-se, ainda, que a redução relativa dos contatos semanais da população católica participante das missas dos domingos é de 20%. Para considerar uma margem de erro, as simulações levam em conta esse valor no intervalo $m = 0,80 \pm 0,10$. Para justificar este intervalo, considerou-se uma rotina hipotética em que uma pessoa ao sair de casa se relaciona com outras 30 pessoas ao longo do dia, considerando uma distância menor que 2 metros. Estimou-se que o número médio de contatos de cada pessoa em uma hora durante a missa dominical é de 200 pessoas, para cerca de 700 pessoas em média em cada missa dominical, conforme a Tabela 2 que se encontra no Apêndice.

Considerando os graus de exposição dos contatos semanais, ponderado pelo número de dias e horas, em relação à exposição em uma celebração dominical, tem-se que:

$$m = 1 - \frac{200 \times 1 \times 1,8}{(200 \times 1 \times 1,8) + (30 \times 6 \times 8,0)} = 0,80$$

A Tabela 1 mostra os valores dos parâmetros encontrados e das condições iniciais adotadas para o modelo proposto, que serão utilizados na simulação numérica. Os valores de β_1 e β_2 do modelo STIRM são determinados pela Equação (4) para cada um dos valores de m .

4 Resultados Numéricos

Esta seção procura validar, por meio da simulação numérica do modelo proposto, a hipótese de que a medida de suspensão das missas foi responsável por uma redução na propagação da doença. Mais do que isso, procura-se encontrar uma estimativa para a redução no número de infectados e mortos no país e do valor do pico da epidemia causado pelo isolamento social.

Antes disso, o gráfico da Figura 2 mostra a adequação do modelo proposto aos dados oficiais de infectados e mortos pela infecção no período no Brasil.

Tabela 1: Parâmetros do Modelo STIRM.

Parâmetros	Valores
N	105.369
m	(0, 7; 0, 8; 0, 9)
μ	0,0106
β	0,1999
γ	0,0714
f	0,33
R_0	2,4374
$S(0)$	$f \cdot (N - I(0) - R(0) - M(0))$
$T(0)$	$(1 - f) \cdot (N - I(0) - R(0) - M(0))$
$I(0)$	1.354
$R(0)$	0
$M(0)$	0

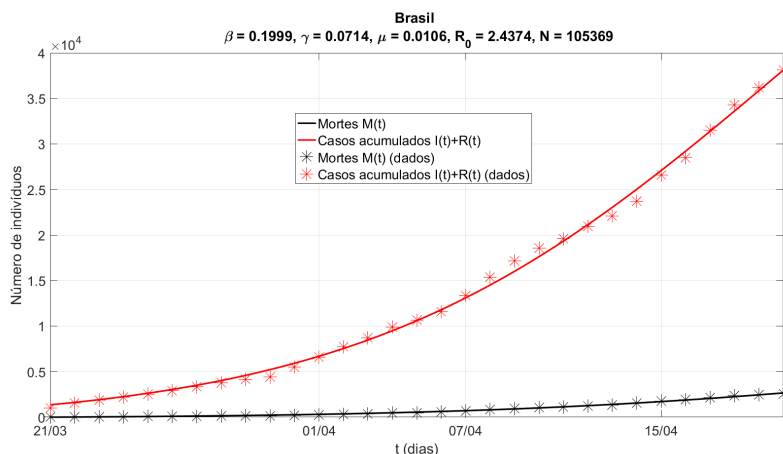


Figura 2: Ajuste do modelo apresentado aos dados oficiais da COVID-19 no período de 21/03 a 20/04/2020 no Brasil.

Para verificar numericamente a hipótese do trabalho, considerou-se um cenário em que a medida não tivesse sido tomada. Isso equivale a fazer $m = 1$ na Equação (3), o que leva à igualdade $\beta_1 = \beta_2$, e isso, naturalmente, representa um o cenário sem o isolamento social decorrente da suspensão das missas. Neste caso, a Figura 3 mostra uma redução de 9,7% no valor do pico da doença, variando de 5% a 14,1% dentro do intervalo considerado, além de um atraso na data de ocorrência do pico, como esperado.

A Figura 4 apresenta o número relativo ao total de mortes ao longo dos dias seguindo a dinâmica atual da doença e aquela com acréscimo hipotético dos contatos nas missas. Nota-se que a medida, de fato, reduziu em 2,6% o número de mortes totais causadas por COVID-19, podendo variar entre 1,4% e 3,8% considerando o intervalo.

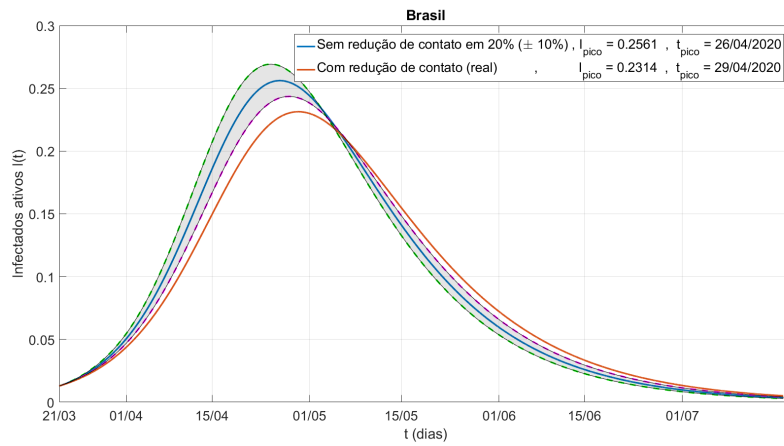


Figura 3: Variação da curva de Infecções se não houvesse suspensão das missas no Brasil.

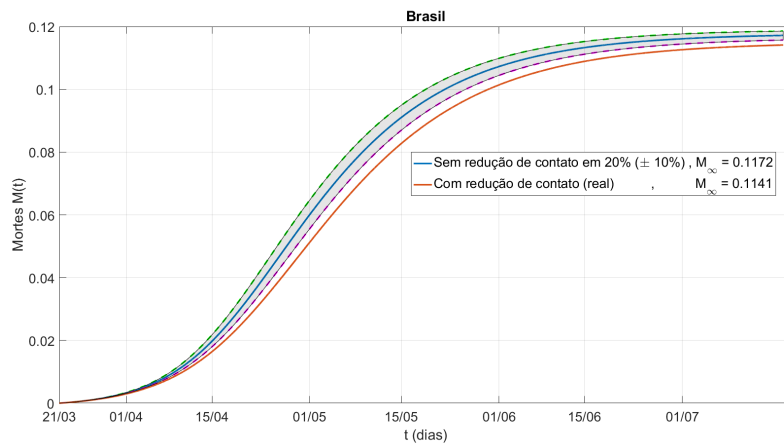


Figura 4: Redução do número de mortes pela epidemia com as suspensão das missas no Brasil.

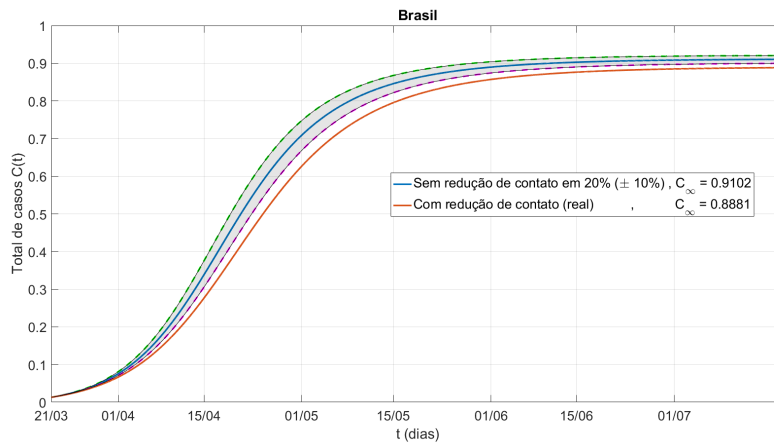


Figura 5: Redução do número de casos de infectados pela COVID-19 no Brasil.

Finalmente, na Figura 5 é possível perceber que o número relativo ao total de infectados também é reduzido, como era esperado, a um valor de 2,4% dos casos totais, variando de 1,3% a 3,5% dentro do intervalo considerado de cenários com medida de distanciamento social.

5 Conclusão

Para doenças como a COVID-19, para a qual ainda não existem vacinas ou medicamentos, o isolamento social apresenta-se como a medida mais efetiva para o controle da epidemia. As missas dominicais representam local de aglomeração de parte relevante da população do Brasil, maior país católico do mundo.

Neste trabalho procurou-se estimar, de modo quantitativo, que a suspensão das atividades presenciais impactou de modo significativo a evolução da epidemia da COVID-19: uma redução estimada de 9,7% no pico do número de casos de infecção e de 2,6% no número mortes no país. Matematicamente, percebeu-se que o cancelamento de parte das atividades em cada grupo social contribuiu para o distanciamento social e a consequente redução dos casos de infecção e de morte causados pela doença.

Referências

- [1] CNBB (2020) *Confirma a lista das dioceses que suspenderam missas com participação dos fiéis - CNBB*, <https://www.cnbb.org.br/cnbb-reforca-recomendacao-ao-episcopado-brasileiro-de-manter-o-distanciamento-social/>. Acesso em 23/04/2020.

- [2] KERMACK, W. O.; MCKENDRICK, A. G. (1927) *A contribution to the mathematical theory of epidemics. Proceedings of the Royal Society of London.*, Series A, v. 115, n. 772, p. 700–721, .
- [3] IBGE (2010) *Dados Censo-2010*, <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em 23/04/2020.
- [4] Datafolha (2007) *90% dos brasileiros vão à igreja, a cultos ou serviços religiosos - 05/05/2007 - Opinião Pública - Datafolha*, http://media.folha.uol.com.br/datafolha/2013/05/02/religiao_03052007_1. Acesso em 23/04/2020.
- [5] CERIS (2015) *Anuário Católico do Brasil*, Centro de Estatística Religiosa e Investigações Sociais, Rio de Janeiro.

Apêndice

Tabela 2: Dados Estatísticos sobre População Católica.

Descrição	Nº
Total de Católicos no Brasil ([3])	123.280.172
Católicos Frequentes à Missa ([4])	62.838.793
Dioceses no País ([5])	274
Paróquias no País ([5])	11.011
Frequência Média Semanal por Paróquia	5.707
Participantes por Culto (estimado)*	700

* Valor arredondado considerando média de 5 a 9 missas semanais com alta lotação por paróquia.