

Combate ao COVID-19 em cidades menores, o dia D é hoje!

Eduardo L. Brugnago* and Marcus W. Beims†

Departamento de Física, Universidade Federal do Paraná, 81531-980 Curitiba, PR, Brazil

(Dated: 30 de Abril de 2020)

Vale a pena impor o distanciamento social em cidades com poucos, ou nenhum indivíduo confirmado com COVID-19? Neste trabalho mostramos que **quanto menor** o número de indivíduos expostos ao vírus causador do COVID-19 no contágio inicial, e o quanto antes medidas de distanciamento social forem adotadas, **bem menor** será o número final de indivíduos infectados. Portanto, é essencial que todas as cidades menores no país comecem hoje ações de distanciamento social.

I. INTRODUÇÃO

O alarmante crescimento da pandemia de COVID-19 pelo mundo e, em especial, no nosso país, tem direcionado os esforços de pesquisadores em diversas áreas para encontrar medidas eficazes no combate ao alastramento do vírus. Distanciamento social e realização de testes em massa são propostas científicas em voga nos meios acadêmico e jornalístico. Ainda que, em países como Alemanha e Inglaterra, a implementação do distanciamento social esteja demonstrando sucesso na redução de novos casos da infecção, no Brasil essa medida encontra resistência popular. Compreensivelmente, parte da população teme que a interrupção das atividades produtivas e comerciais cotidianas acarrete em uma crise econômica catastrófica. Tal cenário não pode ser descartado. Também há casos de desemprego e impossibilidade de levantar recursos para a sobrevivência durante este período. Não ignoramos a importância dessas alegações, porém a pandemia de COVID-19 é um assunto de grande seriedade e com graves consequências para os brasileiros e para o mundo. Combatê-la é urgente e devemos fazê-lo de maneira eficaz.

Neste trabalho enfatizamos a relevância do distanciamento social como estratégia de combate à pandemia em cidades menores. As análises que conduzimos visam dar resposta à seguinte questão:

É relevante implementar o distanciamento social em cidades com uma pequena população e poucos, ou nenhum, casos de COVID-19 confirmados ?

Recorremos a simulações numéricas para gerar diversos cenários, decorrentes de diferentes condições iniciais, e avaliamos as consequências de se iniciar o distanciamento social com diferentes prontidões. Na seção seguinte há uma sucinta descrição o modelo matemático empregado. O leitor que decidir pular os detalhes técnicos pode, sem prejuízo, passar diretamente à seção III.

II. O MODELO

Empregamos o mesmo modelo de equações diferenciais ordinárias (EDOs) que fora utilizado em um artigo publicado recentemente [1]. Tendo como base o modelo SEIR (Suscetíveis-Expostos-Infectados-Recuperados), fizemos modificações a fim de representar os casos assintomáticos e os pacientes isolados. Obtivemos o sistema composto por seis EDOs acopladas:

$$\dot{S} = -\frac{\theta}{T_{inf}} \frac{(I_s + \alpha I_a)}{N} S, \quad (1)$$

$$\dot{E} = \frac{\theta}{T_{inf}} \frac{(I_s + \alpha I_a)}{N} S - \frac{E}{T_{lat}}, \quad (2)$$

$$\dot{I}_s = (1 - \beta) \frac{E}{T_{lat}} - \left(\kappa_s + \frac{1}{T_{inf}} \right) I_s, \quad (3)$$

$$\dot{I}_a = \beta \frac{E}{T_{lat}} - \left(\kappa_a + \frac{1}{T_{inf}} \right) I_a, \quad (4)$$

$$\dot{Q} = \kappa_s I_s + \kappa_a I_a - \frac{Q}{T_{serial}}, \quad (5)$$

$$\dot{R} = \frac{I_s + I_a}{T_{inf}} + \frac{Q}{T_{serial}}. \quad (6)$$

O ponto sobre as variáveis representa a derivada temporal. As variáveis utilizadas são definidas por:

- $N = S + E + I_s + I_a + Q + R$: população total.
- S : indivíduos suscetíveis à infecção.
- E : indivíduos expostos, permanecem latentes até que se tornam infecciosos.
- I_s : indivíduos infecciosos sintomáticos. Casos com sintomas não leves. Assumimos que estes indivíduos procuram por cuidados de saúde e são, então, incluídos nos casos confirmados.
- I_a : indivíduos infecciosos assintomáticos ou com sintomas leves. Assumimos que esses não procuram cuidados médico e, assim, não são contabilizados nos casos confirmados.
- Q : indivíduos infecciosos isolados (em quarentena).

* elb@fisica.ufpr.br

† mbeims@fisica.ufpr.br

- R : indivíduos que foram infectados mas que tornaram-se imunes, recuperados.

Os parâmetros fixos receberam os seguintes valores:

- $T_{serial} = 7,5$ dias; $T_{lat} = 5,2$ dias;
- $T_{inf} = T_{serial} - T_{lat}$;
- $\alpha = 1$; $\beta = 0,8$;
- $\kappa_s = 0,5$; $\kappa_a = 0$,

onde T_{serial} é o tempo médio entre sucessivos casos de transmissão da doença; T_{lat} é o período médio de incubação (aqui considerado igual ao período latente); T_{inf} é o período de infecção; α é a razão entre as capacidades infecciosas de assintomáticos e sintomáticos; β é a razão da população que permanece assintomática, ou com sintomas leves (ver item 46 em Ref. [2]); κ_s e κ_a são as taxas de isolamento dos indivíduos sintomáticos e assintomáticos, respectivamente. Já para $\theta = \gamma R_0$ consideramos o número básico de reprodução sem que haja distanciamento social e o fator de interação γ . Propomos o parâmetro γ como a razão entre as médias de interações sociais próximas diárias com o distanciamento social implementado e sem este, para a mesma população. Maior distanciamento social implica menor θ , efeito equivalente a diminuir R_0 . A distinção entre esses parâmetros possibilita identificarmos efeitos diretos da medida adotada de para o combate à pandemia.

Avaliamos os cenários a partir do acumulado de casos confirmados (C_{cum}), obtido por meio da equação diferencial auxiliar ao modelo

$$\dot{C}_{cum} = (1 - \beta) \frac{E}{T_{lat}} + \kappa_a I_a. \quad (7)$$

Como condições iniciais variamos $E(0) = E_0 = 1, 2, \dots, 100$ e determinamos $S(0)$ a partir da equação para a população total $N = S + E + I_s + I_a + Q + R$. As demais variáveis são iniciadas nulas. Dessa forma, representamos estados iniciais sem indivíduos infecciosos, **apenas E_0 casos em estado latente**. Para as representações gráficas, iniciamos a contagem do tempo pelo dia 1.

III. RESULTADOS

O parâmetro θ possibilita o estudo do efeito do distanciamento social. Uma vez que o número básico de reprodução (R_0) fornece o número secundário de indivíduos infectados por um indivíduo primário infeccioso, podemos condicionar o fator de interação social (γ) conforme o valor de θ na estratégia proposta. Caso as interações sociais, numa dada sociedade, correspondam ao habitual, tem-se $\gamma = 1$ e $\theta = R_0$. Para $R_0 < 1$ a contagem de novos casos de infecção decresce exponencialmente e para $1 < R_0 < \infty$ ela cresce exponencialmente [3].

Geramos os cenários a partir de $R_0 = 2,5$ em diferentes quadros: sem ações de controle (III A) e com a

implementação do distanciamento social (III B). Importante reiterar que no nosso modelo assumimos o número básico de reprodução na ausência de medidas de controle e variamos o distanciamento social por meio do parâmetro γ , este oculto em θ . Para todos os casos, a população total foi definida em $N = 10^5$ habitantes.

A. Distanciamento social não implementado ($\theta = R_0 = 2,5$)

Começamos por analisar a evolução no tempo do acumulado de casos confirmados C_{cum} para diferentes condições iniciais $E_0 = 1, 2, \dots, 100$, ou seja, para um número inicial diferente de expostos ao vírus. Assumimos $R_0 = 2,5$ e interação social habitual ($\gamma = 1$), não há medida de distanciamento social e $\theta = R_0$.

Na Figura 1(a) representamos o acumulado de casos confirmados em função dos dias em um gráfico semi-log. Em cores distinguimos as evoluções a partir de diferentes quantidades E_0 de indivíduos expostos ao vírus no dia 1. As linhas tracejadas marcam os extremos conforme as condições iniciais, azul para $E_0 = 1$ e magenta para $E_0 = 100$. Fica nítido que o todas as curvas tendem ao mesmo total de infectados, passados 120 dias esse valor aproxima-se 1.7×10^3 casos sintomáticos.

Quanto menor a quantidade de expostos no primeiro dia, mais tempo é necessário para que a curva entre na etapa de crescimento exponencial (trecho com crescimento acentuado). Chegando a uma diferença de aproximadamente 40 dias entre os extremos $E_0 = 1$ e $E_0 = 100$.

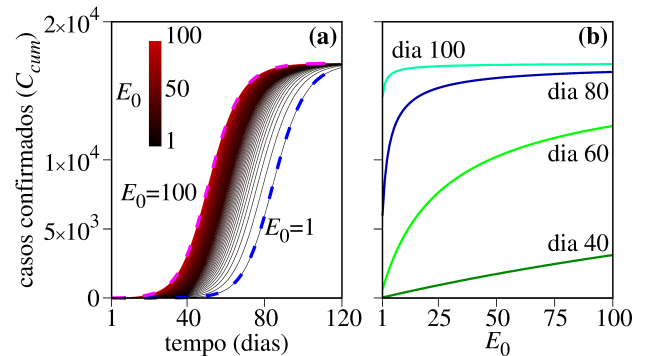


Figura 1. (a) Evolução temporal do total de casos para diferentes quantidade de expostos iniciais E_0 . (b) Total de casos em função de E_0 calculados em diferentes dias.

A figura 1(b) mostra o número de casos confirmados nos dias 40, 60, 80 e 100 em função do número de indivíduos expostos E_0 no dia 1. Essa análise evidencia a importância do tempo na evolução do total de casos. Independentemente da quantidade de expostos inicial, o avançar dos dias leva o total de infectados a valores cada vez mais próximos. Portanto, é essencial a prontidão na tomada de medidas de combate à propagação da pandemia, principalmente em se havendo poucos indivíduos expostos. De fato, não se sabe quantos são os expostos,

o que é mais um argumento em favor da ideia: **o quanto antes agirmos, melhor!**

B. Distanciamento social implementado ($\theta = 1,0$)

Simulamos agora o distanciamento social como única ação de controle para a propagação do vírus, essa medida será denominada simplesmente pelo termo *ação*. Assim, no nosso modelo mantemos o parâmetro $R_0 = 2,5$, como no casos sem distanciamento social implementado, e propomos $\gamma = 0,4$ e, conseqüentemente, $\theta = \gamma R_0 = 1,0$. Esse valor para o parâmetro de interação social representa reduzir as interações sociais próximas a 40% do habitual. Seguimos com as análises de diferentes cenários a partir de combinações entre a quantidade inicial de expostos E_0 e o dia de implementação da ação.

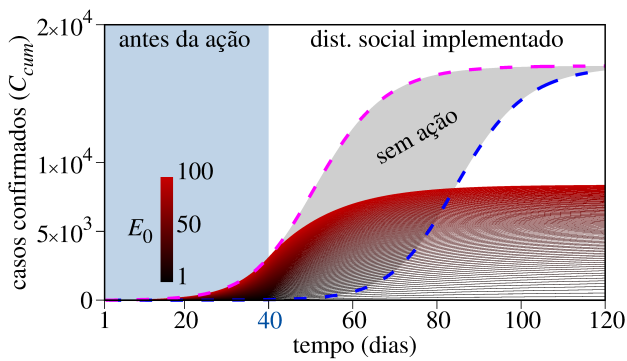


Figura 2. Evolução temporal do acumulado de casos confirmados para diferentes quantidades de indivíduos expostos inicialmente E_0 . Neste caso a ação de distanciamento social foi aplicada a partir do dia 40.

Na figura 2 contrastamos as evoluções no número de casos confirmados sem ação e com a ação de combate à pandemia. A região sombreada traz as informações já mostradas na figura 1(a). As linhas contínuas em cores, conforme legenda na figura, representam os cenários decorrentes de diferentes condições iniciais $E_0 = 1, 2, \dots, 100$, esses afetados pelo distanciamento social implementado a partir do dia 40. Ou seja, usamos $\theta = R_0 = 2,5$ até o dia 39 e $\theta = 1,0$ a partir do quadragésimo dia.

Claramente a ação produz o efeito esperado, há redução significativa na quantidade de casos confirmados. Para $E_0 = 100$, no dia 120 (passados 80 dias do início da ação) observamos $C_{cum} \approx 8,4 \times 10^3$, uma redução de mais de 50% em comparação com os quadros sem a ação. Mais importante do que esse resultado, notamos que para valores pequenos de E_0 , o total de infectados confirmados até o dia 120 é ordens de grandeza menor do que sem a implementação da ação.

Quanto menor o número inicial de casos latentes, maior o efeito do distanciamento social na redução do acumulado de infectados ao longo dos dias.

Podemos ainda determinar a eficiência do distanciamento social para diminuir o número de infectados no dia X . Para isto definimos a *eficiência de implementação da ação no dia D* :

$$\eta_D(X) = 1 - \frac{C_{cum}(X; D, \theta = 1,0)}{C_{cum}(X; \theta = 2,5)}, \quad (8)$$

com $C_{cum}(X; \theta = 2,5)$ sendo a quantidade de casos confirmados até o dia X sem a implementação do distanciamento social. Já $C_{cum}(X; D, \theta = 1,0)$ é o número de casos confirmados até o dia X com o distanciamento social implementado a partir do dia D . Quando $\eta \rightarrow 1$ significa que $C_{cum}(X; \theta = 2,5) \gg C_{cum}(X; D, \theta = 1,0)$, ou seja, o distanciamento social foi eficaz em diminuir o número total de infectados. Entretanto, quando a eficiência $\eta_D(X) \rightarrow 0$, significa que $C_{cum}(X; \theta = 2,5) \approx C_{cum}(X; D, \theta = 1,0)$ e o efeito do distanciamento social foi inútil.

Na figura 3 mostramos $\eta_D(120)$ (após 120 dias) em função da quantidade de expostos no primeiro dia, e para diferentes dias $D = 40, 50$ e 60 . A eficiência da ação

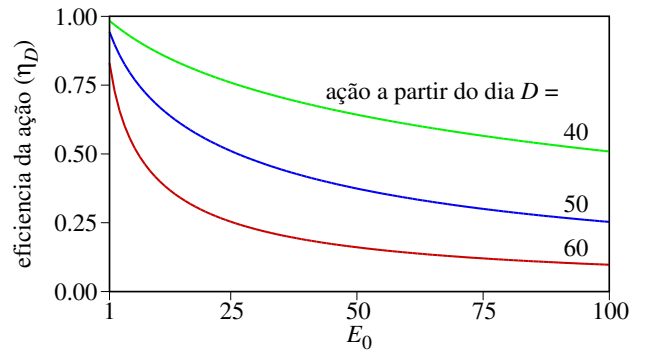


Figura 3. Eficiência da ação $\eta_D(120)$ em função do número inicial de expostos E_0 para diferentes dias $D = 40, 50, 60$ de implementação.

decrece em função da quantidade inicial de expostos e, principalmente, também em função do dia D de implementação do distanciamento social.

Quanto menor o número inicial de expostos, e quanto antes o dia D da ação, mais eficiente o distanciamento social no combate à pandemia.

IV. CONCLUSÃO

Resumimos as principais conclusões deste estudo em uma frase: *O sucesso do distanciamento social como ação de combate à pandemia depende da prontidão na sua implementação, quanto antes essa ação for tomada, maior será a sua eficácia.* Portanto, cidades menores, mesmo na ausência de casos confirmados, deveriam começar o distanciamento social hoje. Ações não-farmacológicas não somente diminuem a mortalidade, mas também mitigam

as consequências econômicas adversas da epidemia, conforme sugere trabalho recente sobre a gripe nos USA em 1918 [4].

O estudo sobre a gripe nos USA em 1918 [4] sugere que, logo após a pandemia, cidades onde o distanciamento social fora implementado antes e de forma mais acentuada, obtiveram crescimento econômico igual a, ou até maior do que, aquelas nas quais tardou-se a tomar tal medida.

-
- [1] C. Manchein, E.L. Brugnago, R.M. da Silva, C.F.O. Mendes, and M.W. Beims, “Strong correlations between power-law growth of covid-19 in four continents and the inefficiency of soft quarantine strategies,” *Chaos* **30**, 041102 (2020).
- [2] World Health Organization, “Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports,” [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports/)
- [coronavirus-2019/situation-reports/](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports/) (2020).
- [3] H. W. Hethcote, “The mathematics of infectious diseases,” *SIAM Review* **42**, 599–653 (2000).
- [4] S. Correia, S. Luck, and E. Verner, “Pandemics depress the economy, public health interventions do not: Evidence from the 1918 flu,” Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3561560> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3561560> (2020).