

# Sobre a ineficiência de quarentenas leves no combate à COVID-19 e a solução global: distanciamento social

Cesar Manchein<sup>1</sup>, Eduardo L. Brugnago<sup>2</sup>, Rafael M. da Silva<sup>2</sup>, Carlos F. O. Mendes<sup>3</sup> e Marcus W. Beims<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidade do Estado de Santa Catarina, 89219-710 Joinville, SC, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidade Federal do Paraná, 81531-980 Curitiba, PR, Brasil

<sup>3</sup>Escola Normal Superior, Universidade do Estado do Amazonas, 69050-010 Manaus, AM, Brasil

\*e-mail: mbeims@fisica.ufpr.br

## RESUMO

Nesta nota técnica, apresentamos um resumo e atualizamos os dados referentes aos principais resultados do artigo intitulado “*Strong correlations between power-law growth of COVID-19 in four continents and the inefficiency of soft quarantine strategies*”, publicado na revista **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, 30 041102 (2020). Nesse artigo, analisamos o crescimento do número acumulado de casos confirmados de COVID-19 até o dia 27 de março de 2020 em países da Ásia, Europa, Américas do Norte e do Sul. Nossos resultados mostram que um crescimento na forma de lei de potência é observado em todos os países analisados. Usando a Correlação de Distância (CD), verificamos que as séries temporais desses países são altamente correlacionadas, o que sugere uma universalidade na forma de propagação do novo coronavírus. A alta correlação permite-nos propor que as medidas de contenção que tiveram êxito em um país podem ser aplicadas com sucesso em outros países ao redor do mundo. Utilizamos ainda uma modificação do modelo epidemiológico SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered) para formular estratégias que permitam às autoridades responsáveis combater a pandemia. Mostramos que, além do distanciamento social, estratégia de relevância bem conhecida, identificar e isolar indivíduos infecciosos assintomáticos, com uma alta taxa diária de testes realizados, pode contribuir para o controle do crescimento do número de infectados. Nessa nota técnica, ficamos restritos a mostrar resultados atualizados para o Brasil e para os Estados Unidos da América (EUA).

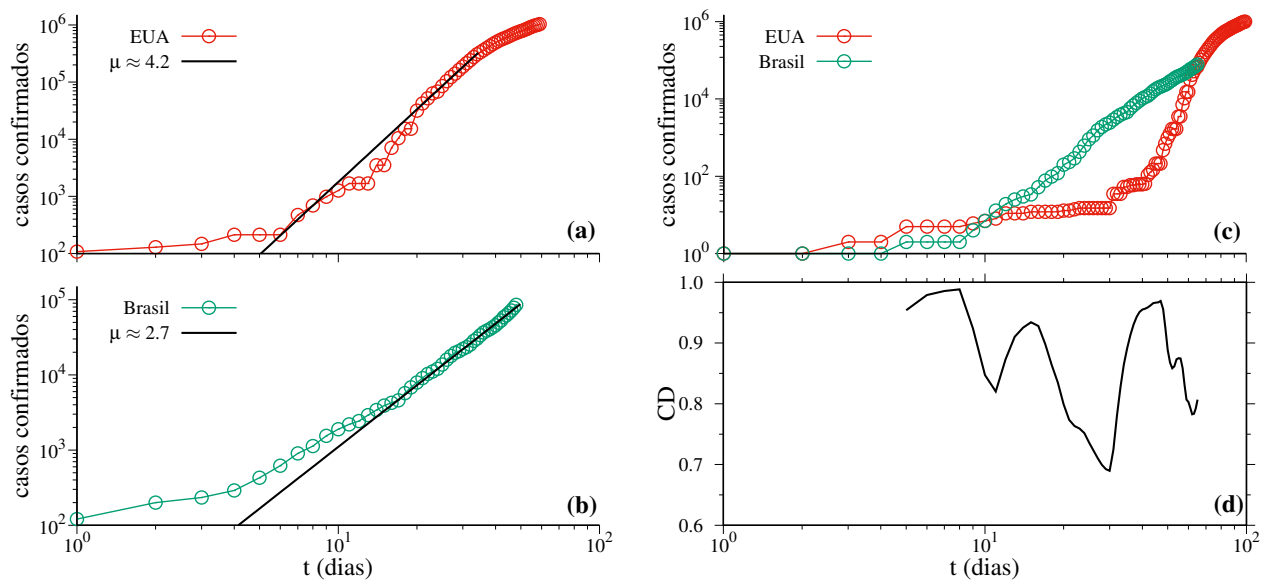
## ABSTRACT

In this technical note, we present a summary and data update of the main results of our article entitled “*Strong correlations between power-law growth of COVID-19 in four continents and the inefficiency of soft quarantine strategies*”, published in **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, 30 041102 (2020). In this paper, we analyzed the growth of the cumulative number of confirmed cases of COVID-19 until March 27<sup>th</sup>, 2020 in countries from Asia, Europe, North and South America. Our results show that a power-law growth is observed for all countries. Using the Distance Correlation (DC), we found that curves between countries are highly correlated, suggesting the universality of such curves. The high correlation strongly indicates that the government’s containment measures can be successfully applied around the world. We also used a modified SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered) model to propose strategies that allow the government to achieve the flattening of the curves. We found that besides the social distancing of individuals, of well-known relevance, the strategy of identifying and isolating asymptomatic infected people in a large daily rate can help to flatten the power-laws. In this note, we restrict ourselves to present updated results for Brazil and United States of America.

## Introdução

Em dezembro de 2019, na cidade de Wuhan (China), foi identificado um novo coronavírus que pode ser transmitido principalmente através do contato pessoa a pessoa. A Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou, em 30 de janeiro de 2020, que o surto da doença (COVID-19) causada pelo novo coronavírus constitui uma emergência de Saúde Pública de Importância Internacional, o mais alto nível de alerta da Organização. Em 11 de março de 2020, a situação mundial da COVID-19 foi caracterizada pela OMS como uma pandemia<sup>1</sup>. Até o momento, não há vacina ou medicamento antiviral es-

pecífico para prevenir ou tratar a COVID-2019. Nesse cenário complexo, proteger as pessoas da infecção e evitar um colapso econômico mundial são os maiores desafios da atualidade. A elevada infectividade do vírus causador da COVID-19 devido à ausência de imunidade nas pessoas acarreta o rápido crescimento do número de casos confirmados dessa doença. Nesse sentido, são necessárias intervenções governamentais com o objetivo de inibir a proliferação do vírus entre os humanos e, conseqüentemente, diminuir o pico de ocorrências, ou seja, achatar a curva epidêmica. Desse modo, a demanda hospitalar para o atendimento dos indivíduos infectados é reduzida,



**Figura 1.** Número acumulado de casos confirmados de COVID-19 em função do tempo (em dias) na escala log-log para (a) EUA e (b) Brasil, excluindo os dias que apresentam menos de 100 casos. As curvas contínuas de cor preta representam a função  $\propto t^\mu$  que descreve o crescimento da série temporal, sendo  $\mu$  o expoente para cada país. No painel (c) também são apresentadas as séries temporais dos EUA (círculos vermelhos) e do Brasil (círculos verdes), no entanto com dados desde o início da pandemia. Em (d), encontra-se a Correlação de Distância entre as séries temporais desses dois países.

sendo possível atender adequadamente as pessoas infectadas e, conseqüentemente, diminuir os índices de mortalidade.

O surpreendente aumento de casos diagnosticados positivamente de COVID-19 tem chamado a atenção do mundo, incluindo pesquisadores de várias áreas e autoridades governamentais. Segundo Puevo<sup>2</sup>, precisamos encontrar explicações para os dados reais e propor modelos que nos permitam entender melhor a evolução do vírus o quanto antes. Espera-se que tais explicações e modelos possam ser usados para implementar políticas de procedimentos sociais que venham a diminuir o número de infecções e mortes.

Para aprimorar o conhecimento sobre a COVID-19 e seu comportamento em diferentes países, em nosso artigo exploramos as séries temporais reais do número acumulado de casos confirmados da doença até o dia 27 de março de 2020<sup>3</sup>. Nessa nota técnica, entretanto, apresentamos uma atualização dos dados e análises somente para os países Brasil e Estados Unidos da América (EUA). Os dados foram obtidos a partir dos relatórios publicados diariamente pela OMS<sup>1</sup>.

## Resultados

### *Crescimento em lei de potência*

As Figs. 1(a) e 1(b) mostram os dados do número acumulado de casos confirmados de COVID-19 até o dia 29 de abril de 2020 para o Brasil e para os EUA. Podemos observar nessas figuras que, após um período inicial com uma pequena incidência de novos casos, o crescimento do número acumulado de pessoas infectadas cresce, para certos intervalos de tempo,

de acordo com uma lei de potência<sup>4</sup>  $\propto t^\mu$ , tanto para os EUA (Fig. 1(a)) como para o Brasil (Fig. 1(b)). As linhas contínuas mostradas nessas figuras são as curvas ajustadas. É o expoente de crescimento  $\mu$  que determina a velocidade de propagação da pandemia nesses dois países.

Para quantificar a relação entre essas curvas, utilizamos a Correlação de Distância (CD), uma medida estatística da dependência de vetores randômicos<sup>5</sup>. A CD será zero somente se as séries temporais forem independentes. Por outro lado, se esses dados forem fortemente correlacionados, a CD será igual a um. Na Fig. 1(d) apresentamos o valor da CD calculada entre as séries temporais do Brasil e dos EUA. Podemos observar que o valor da CD se aproxima de um em dois períodos: (i) ao longo do platô inicial, no qual há uma pequena incidência de novos casos de COVID-19 em ambos os países; e (ii) ao longo do crescimento na forma de lei de potência, sugerindo que, apesar do expoente de crescimento  $\mu$  ser diferente, as séries temporais do Brasil e dos EUA são fortemente correlacionadas durante esse período de crescimento. Após a CD atingir um valor próximo a um, por volta do dia 50, essa quantidade volta a decrescer, uma vez que o crescimento do número acumulado de casos nos EUA deixou de ser proporcional a  $t^\mu$ , de forma que não existe mais uma forte correlação entre os dados dos dois países. Esse resultado é de extrema importância, pois nos indica uma universalidade na forma de propagação do novo coronavírus para certos intervalos de tempo. Como consequência dessa universalidade, propomos que medidas de contenção bem sucedidas, já aplicadas em um determinado país, podem também ser adotadas por outros países cujas séries temporais se encontrem na fase

inicial do crescimento, ainda sob a forma de lei de potência.

### Simulações de estratégias de contenção

O modelo que propusemos em nosso artigo para simular estratégias de contenção da pandemia de COVID-19 é formado pelas seguintes Equações Diferenciais Ordinárias (EDOs)<sup>3,6</sup>:

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

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

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

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

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

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

Trata-se de uma extensão do conhecido modelo epidemiológico SEIR<sup>7,8</sup>. Nesse modelo, aplicado a uma população com  $N$  indivíduos, consideramos que pessoas susceptíveis ( $S$ ) se tornam expostas ( $E$ ) a uma taxa  $\theta(I_s + \alpha I_a)/(NT_{inf})$  e, após um tempo latente  $T_{lat}$ , essas pessoas tornam-se infecciosas sintomáticas  $I_s$  ou assintomáticas  $I_a$  a uma taxa  $(1 - \beta)/T_{lat}$  e  $\beta/T_{lat}$ , respectivamente. Com a realização de testes diários a uma taxa  $\kappa_s$  ( $\kappa_a$ ), podemos identificar e isolar indivíduos sintomáticos (assintomáticos), os quais permanecem em quarentena  $Q$  por um tempo  $T_{ser}$  até estarem recuperados ( $R$ ). Por outro lado, indivíduos infectados que não foram testados tornam-se recuperados ( $R$ ) após um tempo característico de infecção  $T_{inf}$ . Para maiores detalhes sobre o modelo e seus

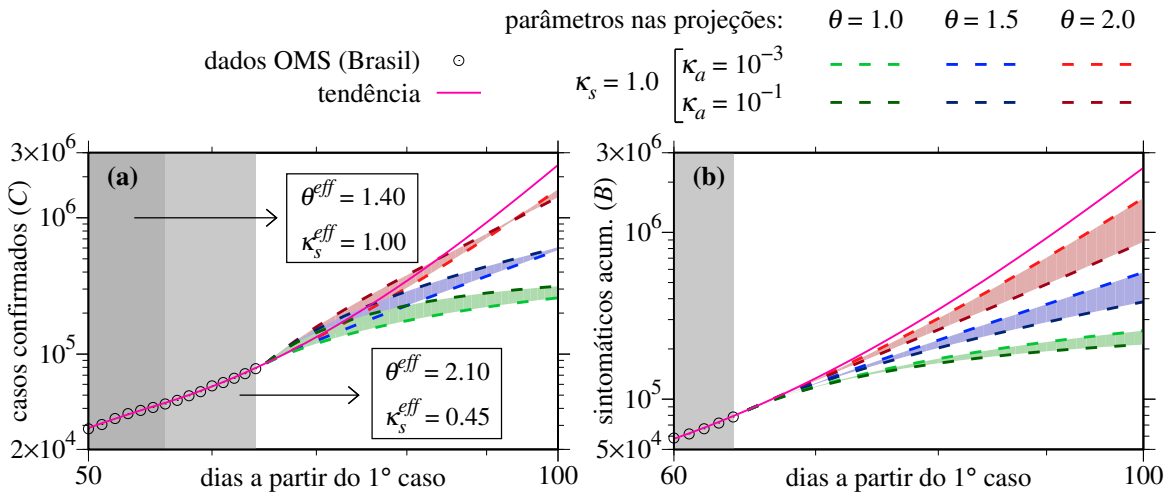
parâmetros, remetemos o leitor às Refs. 3 e 6. Além das seis EDOs que compõem o modelo, também computamos o número acumulado de casos  $C$  através da equação

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

Por meio dessa variável, os parâmetros  $(\theta, \kappa_s)$  podem ser ajustados de forma que o modelo reproduza adequadamente os dados das séries temporais de cada país.

Atribuímos diferentes valores aos parâmetros  $\theta$  e  $\kappa_a$  a fim de simularmos estratégias de contenção da pandemia. Vale mencionar que  $\theta = \gamma R_0$ , sendo  $R_0$  o número básico de reprodução da doença sem ações de distanciamento social, e  $\gamma$  é o fator de interação entre os indivíduos. Combinamos três distintos níveis de distanciamento social – representados nos valores  $\theta = 1.0, 1.5, 2.0$  – com a variação de  $\kappa_a$  no intervalo  $[0.001, 0.1]$  em passos de 0.009. Os extremos  $\kappa_a = 0.001$  e  $\kappa_a = 0.1$  correspondem a identificar e isolar *diariamente* 0.1% e 10%, respectivamente, dos indivíduos infecciosos assintomáticos.

Na Fig. 2 mostramos a curva tendência (em magenta) do número de casos confirmados para o Brasil e as projeções em diferentes cenários. Obtivemos os parâmetros  $\theta^{eff}$  e  $\kappa_s^{eff}$  por meio da minimização do erro médio quadrático entre a curva gerada pelo modelo e os dados obtidos da OMS<sup>1</sup>. Os parâmetros destacados na Fig. 2(a) indicam a diminuição dos índices efetivos de distanciamento social (aumento do valor de  $\theta^{eff}$ ) e taxa de isolamento dos indivíduos infecciosos sintomáticos (diminuição do valor de  $\kappa_s^{eff}$ ), observada da região cinza escuro para a cinza claro. Na mesma figura, ilustramos a evolução do total de casos confirmados para as diferentes estratégias simuladas. O parâmetro  $\theta$ , que carrega informação sobre o distanciamento social, é dominante sobre  $\kappa_a$  na redução do número de casos, como pode ser consta-



**Figura 2.** Projeções do (a) número acumulado total de casos  $C$  e (b) do número acumulado de casos sintomáticos  $B$  para o Brasil, simulando diferentes índices de distanciamento social (valor de  $\theta$ ) e diferentes taxas de realização de exames diários para a identificação de indivíduos infecciosos assintomáticos (valor de  $\kappa_a$ ).

tado ao compararmos as regiões em vermelho ( $\theta = 2.0$ ), azul ( $\theta = 1.5$ ) e verde ( $\theta = 1.0$ ). As curvas tracejadas, em cores de acordo com  $\theta$  e tonalidades identificando os valores de  $\kappa_a$ , marcam os limites dos valores de  $\kappa_a$  usados para gerar os cenários, esses variando dentro das já citadas regiões coloridas. O crescimento no número de casos que se observa nas faixas vermelha e azul na Fig. 2(a), é decorrente da identificação dos indivíduos infecciosos assintomáticos, casos que não seriam computados sem a realização de testes na população em geral ( $\kappa_a > 0$ ).

Já na Fig. 2(b) consideramos apenas o acumulado dos casos sintomáticos, possibilitando uma comparação direta entre os cenários e a tendência (para a qual  $\kappa_a = 0$ ). O número acumulado dos casos sintomáticos é representado por  $B$ , tal que

$$\dot{B} = (1 - \beta) \frac{E}{T_{lat}}. \quad (8)$$

Nessa quantidade, não são considerados os infecciosos assintomáticos, ou mesmo indivíduos com sintomas leves. Na Fig. 2(b), além do domínio do distanciamento social codificado em  $\theta$ , observamos a influência do isolamento dos indivíduos assintomáticos na redução do total de casos sintomáticos.

## Conclusões

Como principais conclusões do nosso estudo, podemos destacar: (i) a existência de um crescimento do número acumulado de casos de COVID-19 na forma de lei de potência; (ii) a existência de uma forte correlação entre as séries temporais de diferentes países durante esse período de crescimento; e (iii) que medidas eficientes no combate à pandemia de COVID-19 envolvem uma combinação entre alto índice de isolamento social (baixo valor de  $\theta$ ) e alta taxa de realização diária de exames para identificação e isolamento de indivíduos infecciosos assintomáticos.

As duas primeiras conclusões indicam a existência de um comportamento universal na proliferação do novo coronavírus ao redor do mundo. O crescimento tipo lei de potência sugere o uso de redes de “mundo pequeno”, ou “livres de escala”, para descrever a propagação da COVID-19<sup>9,10</sup>. A terceira conclusão foi obtida através de um modelo SEIR modificado, o qual separa os indivíduos infecciosos em sintomáticos e assintomáticos e considera o isolamento dos mesmos quando devidamente identificados. Por meio desse modelo, observamos que estratégias com baixos índices de distanciamento social não são eficazes. Além disso, foi possível evidenciar

a importância da realização de um grande número de testes diários que permitem a identificação e isolamento dos indivíduos assintomáticos. Tais medidas, se adotadas em tempo hábil, podem possibilitar o tão desejado achatamento da curva de infectados<sup>6</sup>.

## Referências

1. Organization, W. H. Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports/> (2020).
2. Puevo, T. Coronavirus: Why you must act now. <https://medium.com/@tomaspueyo/coronavirus-act-today-or-people-will-die-f4d3d9cd99c> (2020).
3. Manchein, C., Brugnago, E. L., da Silva, R. M., Mendes, C. F. O. & Beims, M. W. Strong correlations between power-law growth of COVID-19 in four continents and the inefficiency of soft quarantine strategies. *Chaos* **30**, 041102 (2020).
4. Maier, B. F. & Brockmann, D. Effective containment explains sub-exponential growth in confirmed cases of recent COVID-19 outbreak in Mainland China. *arXiv preprint arXiv:2002.07572* (2020).
5. Székely, G. J., Rizzo, M. L. & Bakirov, N. K. Measuring and testing dependence by correlation of distances. *Ann. Stat.* **35**, 2769–2794 (2007).
6. Brugnago, E. L., da Silva, R. M., Manchein, C. & Beims, M. W. How relevant is the decision of containment measures against COVID-19 applied ahead of time? *arXiv:2005.01473* (2020).
7. Li, M. Y., Graef, J. R., Wang, L. & Karsai, J. Global dynamics of a SEIR model with varying total population size. *Math. Biosci.* **160**, 191 – 213 (1999).
8. Wu, J. T., Leung, K. & Leung, G. M. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet* **395**, 689 – 697 (2020).
9. Watts, D. J. *Small worlds: the dynamics of networks between order and randomness* (Princeton University Press, 2004).
10. Barthelemy, M. Spatial networks. *Phys. Rep.* **499**, 1–101 (2011).