

**Panorama da fase inicial do crescimento dos números de casos e óbitos causados pela
COVID-19 no Brasil**

**Overview of the initial growth phase in the number of cases and deaths caused by
COVID-19 in Brazil**

**Panorama general de la fase de crecimiento inicial en el número de casos y muertes por
COVID-19 en Brasil**

Recebido: 17/09/2020 | Revisado: 18/09/2020 | Aceito: 19/09/2020 | Publicado: 21/09/2020

Felipe Augusto Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2552-3433>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: fernandesfelipe@gmail.com

Henrique José de Paula Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0124-3093>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: jpahenrique@gmail.com

Tales Jesus Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1457-9653>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: tales.jfernandes@ufla.br

Joel Augusto Muniz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1069-4136>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: joamuniz@ufla.br

Resumo

Um surto contínuo de pneumonia associado a um novo coronavírus (COVID-19) foi relatado na cidade de Wuhan na China e rapidamente se espalhou para muitos países, inclusive o Brasil. Como se trata de uma doença muito contagiosa e de rápido agravamento do quadro clínico do paciente, entender como se deu o desenvolvimento dos casos e óbitos nos primeiros dias pode ajudar no planejamento de medidas governamentais, até mesmo para possíveis pandemias futuras. Com isso, o objetivo deste trabalho é apresentar como se deu o

crescimento do número de infectados nos primeiros sessenta dias e de mortes confirmadas nos quarenta dias iniciais a partir do primeiro registro, causada pela COVID-19 no Brasil. Foram ajustados modelos de regressão não lineares, com dados foram retirados do Painel Coronavírus do Ministério da Saúde, para modelar estatisticamente como se comportam os dados no período supracitado, e apresentados os mapas que descrevem como se deu a evolução da COVID-19 nos estados brasileiros, até o fim do mês de abril do ano de 2020. Os resultados mostraram que os modelos utilizados (Gompertz e Logístico) foram adequados para explicar o desenvolvimento do número de casos e óbitos da doença em sua fase inicial, sendo que neste período estudado a epidemia ainda não havia alcançado o pico, momento em que tem maior número de casos e óbitos, sendo possível estimar ainda a taxa de crescimento. O mapa mostrou-se adequado para verificar como se deu o crescimento dos casos e mortes nos estados com relação ao período em estudo.

Palavras-chave: COVID-19; Curva de crescimento; Coronavírus no Brasil; Modelagem.

Abstract

A continuous outbreak of pneumonia associated with a new coronavirus (COVID-19) was reported in the city of Wuhan in China and quickly spread to many countries, including Brazil. As it is a very contagious disease and rapidly worsening the patient's clinical condition, understanding how cases and deaths developed in the first days can help in planning governmental measures, even for possible future pandemics. Thus, the objective of this work is to present how the number of infected people grew in the first sixty days and confirmed deaths in the initial forty days from the first record, caused by COVID-19 in Brazil. Nonlinear regression models were adjusted, with data are taken from the Ministry of Health's Coronavirus Panel, to statistically model how the data behaves in the aforementioned period, and maps describing how COVID-19 evolved in Brazilian states were presented, until the end of April of 2020. The results showed that the models used (Gompertz and Logistics) were adequate to explain the development of the number of cases and deaths from the disease in its initial phase, and in this period studied, the epidemic had not yet reached its peak, when there is a greater number of cases and deaths, and it is still possible to estimate the growth rate. The map proved to be adequate to verify how the cases and deaths in the states grew in relation to the period under study.

Keywords: COVID-19; Growth curve; Coronavirus in Brazil; Modeling.

Resumen

Se notificó un brote continuo de neumonía asociada con un nuevo coronavirus (COVID-19) en la ciudad china de Wuhan y se ha propagado rápidamente a muchos países, incluido Brasil. Dado que se trata de una enfermedad muy contagiosa y que empeora rápidamente el cuadro clínico del paciente, comprender cómo ocurrieron los casos y las muertes en los primeros días puede ayudar en la planificación de las medidas gubernamentales, incluso para posibles escenarios futuros. Así, el objetivo de este trabajo es presentar cómo se produjo el número de infectados en los primeros sesenta días y muertes confirmadas en los cuarenta días iniciales desde el primer registro, causado por COVID-19 en Brasil. Se ajustaron los modelos de regresión no lineal, con datos del Panel de Coronavirus del Ministerio de Salud, para modelar estadísticamente cómo se comportan los datos en el período antes mencionado, y los mapas que describen cómo se produjo la evolución del COVID-19 en los estados brasileños a finales de abril de 2020. Los resultados mostraron que los modelos utilizados (Gompertz y Logistic) eran adecuados para explicar el desarrollo del número de casos y muertes de la enfermedad en su fase inicial, y en este período estudiado la epidemia aún no había alcanzado el pico, cuando tiene el mayor número de casos y muertes, y es posible estimar la tasa de crecimiento. El mapa era adecuado para verificar cómo se esperaba que los casos y las muertes en los estados aumentaran en relación con el período de estudio.

Palabras clave: COVID-19; Curva de crecimiento; Coronavirus en Brasil; Modelado.

1. Introdução

Em dezembro de 2019 um novo patógeno anteriormente desconhecido resultou em um surto contínuo de pneumonia viral, sendo reconhecido na região de sua origem em Wuhan na província de Hubei, na China, e segundo Organização Mundial da Saúde (OMS) se tratava da COVID-19 que é uma doença infecciosa causada por um coronavírus recém-descoberto (Sars-Cov-2) (WHO, 2020a). Os coronavírus (CoV) são uma grande família viral, conhecidos por volta dos meados dos anos 1960, que causam infecções respiratórias em seres humanos e em animais. Trata-se de vírus grandes, envelopados, de RNA de fita positiva que podem ser divididos em quatro gêneros: alfa, beta, delta e gama, dos quais os CoVs alfa e beta infectam seres humanos (Wilde et al, 2017).

De acordo com Paules et al. (2020), os coronavírus humanos (HCoVs) são considerados para muitos pesquisadores patógenos inconsequentes, causando apenas um “resfriado comum” em pessoas saudáveis. Todavia, no século XXI, 2 HCoVs altamente

patogênicos - coronavírus da síndrome respiratória aguda grave (SARS-CoV) e coronavírus da síndrome respiratória do Oriente Médio (MERS-CoV) - emergiram de reservatórios de animais para causar epidemias globais com alarmante morbidade e mortalidade.

Este é o caso da COVID-19 que se alastrou em vários países, provocando doença respiratória aguda e mortes, sendo que, até então, o efeito final desse surto não é muito claro, pois a situação está evoluindo rapidamente. Desta forma, a OMS declarou em 30 de janeiro de 2020, uma emergência internacional (WHO, 2020b). Com isso, as atenções da comunidade científica se voltaram para estudos no campo da saúde. Iniciaram então discursões com relação as formas de mitigar o contágio, enquanto pesquisadores desenvolvam remédios para tratamento de infectados, bem como vacinas.

Com o aumento expressivo no número de casos e mortes, a OMS avaliou em 11 de março de 2020, que o COVID-19 era caracterizada como uma pandemia, e desta forma solicitando países tomem medidas urgentes e agressivas (WHO, 2020c).

Dado o crescente número de casos de COVID-19 no cenário internacional e as orientações da OMS, em 22 de janeiro de 2020, o Brasil já havia ativado o Centro de Operações de Emergências em Saúde Pública para o novo Coronavírus (COE-nCoV), como forma de estratégia prevista no Plano Nacional de Resposta às Emergências em Saúde Pública do Ministério da Saúde (Brasil, 2020d). Neste momento as notificações foram recebidas, avaliadas e discutidas, caso a caso, com as autoridades de saúde dos estados e municípios, sendo que ainda não havia nenhum caso confirmado.

Em 26 de fevereiro de 2020, o Ministério da Saúde confirmou o primeiro caso de novo coronavírus do Brasil, na cidade de São Paulo. Se tratava de um homem de 61 anos de entrada no Hospital Israelita Albert Einstein, no dia 25 de fevereiro, com histórico de viagem para Itália, região da Lombardia. Após confirmar o primeiro caso no país, o então ministro da Saúde, Luiz Henrique Mandetta, reforçou que já era esperada a circulação do vírus, mas que, diferente dos demais países com transmissão, o Brasil ainda não estava no inverno – período em que há maior risco de contágio (Brasil, 2020a).

A primeira morte no país, no dia 17 de março de 2020, aliado ao aumento no número de casos e o surgimento de pessoas infectadas que não saíram do Brasil e nem estiveram com pessoas que voltaram de outros países, fez com que o Ministério da Saúde declarasse em 20 de março, o reconhecimento da transmissão comunitária do coronavírus em todo o território nacional, significando que todo o Brasil deveria se unir contra o vírus (Brasil, 2020b).

Como o contágio do COVID-19 é rápido, cerca de 20% dos casos podem requerer atendimento hospitalar por apresentarem dificuldade respiratória e desses casos

aproximadamente 5% podem necessitar de suporte para o tratamento de insuficiência respiratória (suporte ventilatório). Na prática, a forma mais eficiente de combate ao coronavírus para tentar diminuir o contágio e evitar o colapso do sistema de saúde é promover o distanciamento social e evitar aglomerações, conhecidas como medidas não farmacológicas, ou seja, que não envolvem o uso de medicamentos ou vacinas (Brasil, 2020g).

À face do exposto, além das medidas já mencionadas, entender como se deu o aumento do número de casos e óbitos, verificando quais os estados inicialmente mais afetados, bem como, verificar estimativas das taxas crescimento, faz-se necessário para auxiliar no controle epidemiológico e no planejamento da distribuição de recursos.

O padrão de crescimento do número de casos e óbitos possui caráter sigmoidal, o qual é muito bem descrito pelos modelos de regressão não lineares. Esta classe de modelos são utilizados para descrever o padrão de crescimento nas mais diversas áreas de estudo. Além de boa qualidade de ajuste os modelos não lineares possuem outra grande vantagem que é a interpretação prática dos seus parâmetros, (Mazucheli & Achcar, 2002; Amaral et al., 2020; Santos et al., 2020).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo descrever o crescimento do número de infectados e de óbitos confirmados causado pela COVID-19 no Brasil na fase inicial da epidemia, até o dia 26 de abril de 2020 (sexagésimo e quadragésimo dia respectivamente), por meio dos modelos de regressão não lineares Gompertz e Logístico selecionando aquele que melhor descreve os dados, e observar a taxa de crescimento destes, no cenário observado. Também será apresentado o mapa descrevendo como se deu a distribuição espacial do número de casos e óbitos nos estados brasileiros.

2. Metodologia

Este é um estudo exploratório descritivo, cujo os dados foram retirados do *site* Painel Coronavírus do Ministério da Saúde, e trata-se do número acumulado de infectados e mortes causadas pela COVID-19 (Brasil, 2020c). O *site* traz os dados diários e é atualizado conforme as Secretarias dos Estados vão informando os casos. Cabe salientar, que os dados analisados nos ajustes dos modelos não lineares, são os casos confirmados desde início do contágio e número de óbitos oficial da COVID-19 no Brasil, até o dia 26 de abril de 2020, representando o sexagésimo (60º) dia do contágio de novos casos e o quadragésimo (40º) dia após ter mortes confirmada. Já para os mapas, foram considerados os dados até o fim de abril de 2020.

A característica do desenvolvimento inicial do número acumulado de casos e mortes possuem um formato sigmoidal, este fenômeno é característico de todos os países citados no Boletim Epidemiológico 13 do Ministério da Saúde (Brasil, 2020e). Uma curva sigmoidal é dividida em 3 fases: crescimento lento, crescimento exponencial e desaceleração do crescimento. Na fase de crescimento exponencial é atingido o ponto de aceleração máxima (PAM) e também ocorre o pico de máxima contaminação da doença, chamado de ponto de inflexão. A partir deste ponto o número de notificações diárias tende a diminuir e passamos para a fase de desaceleração do crescimento, na qual é atingido o ponto de desaceleração máxima (PDM). Estes pontos podem ser estimados por meio das derivadas do modelo não linear de regressão utilizado para descrever a curva de crescimento (Mischan & Pinho, 2014).

A análise quantitativa do crescimento do número de casos e mortes, causada pela COVID-19 foi feita por meio de modelos não lineares. Foram ajustados os modelos Logístico: $Y_i = A/[1+\exp(k*(B-x_i))]$ + ϵ_i e o Gompertz: $Y_i = A*(1 - \exp(-\exp(k*(B-x_i))))$ + ϵ_i (Fernandes et al., 2015). Em que Y_i representa o valor médio estimado para o número de casos e mortes, na i -ésima observação; A representa o valor assintótico ou máximo estimado para cada cenário; k representa o índice de crescimento (quanto maior for k , mais rapidamente a variável em estudo se aproxima da assíntota - A); B é a abcissa do ponto de inflexão, ponto de máximo crescimento, a partir do qual ocorre a desaceleração da característica em estudo; x_i é o i -ésimo dia de medição; ϵ_i corresponde ao erro aleatório, que se pressupõe que seja independente e identicamente distribuído segundo uma distribuição normal com média zero e variância constante, ou seja $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

A estimação dos parâmetros foi realizada com a minimização da soma dos erros quadrados, no qual resulta nos sistemas de equações normais não lineares, que não possui solução explícita, sendo necessário a utilização de algum processo iterativo. Foi utilizado o processo iterativo de Gauss-Newton que é o padrão da função “nonlinear least squares” - `nls()`, presente no software estatístico R (R Core Team, 2020).

O enfoque estatístico neste caso torna-se importante por possibilitar uma predição dos acontecimentos (Pereira et al., 2018). Ressalta-se que, estes modelos supracitados foram escolhidos pois apresentarem bons ajustes, no período em estudo, outros modelos como o Morgan-Mercer-Flodin, Brody e von Bertalanffy não alcançaram ajustes satisfatórios e/ou a convergência devido suas características próprias. Acrescenta-se ainda, que outros autores como Amaral et al. (2020) e Figueiredo et al. (2020) também trabalharam com utilizando estes modelos ou similares para análises referentes ao novo coronavírus.

Para comparar a qualidade de ajuste fornecida pelos modelos foram utilizados os seguintes critérios de qualidade: Coeficiente de determinação - R^2 ; Critério de informação de Akaike - AIC e o desvio padrão residual – DPR. Quanto mais próximo de 1 for o R^2 , e menores forem os valores de AIC e DPR, melhor é a qualidade de ajuste do modelo. A estimação dos parâmetros, critérios de qualidade, ajuste dos modelos bem como todas as análises e gráficos foram realizadas utilizando o software estatístico R (R Core Team, 2020).

3. Resultados e Discussão

Estudos recentes demonstram que além dos números de casos e mortes pesquisadores também estão interessados nos dados sobre as características clínicas dos pacientes afetados (Guan et al, 2020). No entanto, conhecer as características epidemiológicas como número de casos e mortalidade podem ser úteis na adoção de medidas preventivas, colaborando para a diminuição dos óbitos e da necessidade de ampliação da estrutura hospitalar (Lenzi et al. 2009; Corrêa et al., 2020).

Segundo Yang et al. (2020), existem várias funções não lineares apropriadas para a previsão de epidemias, sendo as mais adequadas: Hill, Logística, Gompertz e Richards, no entanto, existem outras funções: lineares, quadráticas, cúbicas e exponenciais, que apesar de úteis, podem não capturar adequadamente a curva típica em forma de S. Contudo, os autores do estudo supracitado deixam claro que ainda existem poucos estudos comparando modelos não lineares para ajustes de curvas para os casos de óbitos.

Na Tabela 1 é possível verificar as estimativas dos parâmetros e os avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos não lineares Gompertz e Logístico, ajustados aos números de casos e óbitos confirmadas pela COVID-19 no Brasil no início da pandemia.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros e avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos não lineares Gompertz e Logístico, ajustados para os números de casos e óbitos confirmadas pela COVID-19 no Brasil.

Parâmetros / Avaliadores	Casos Confirmados		Mortes Confirmadas	
	Gompertz	Logístico	Gompertz	Logístico
A	420885	103285	24766	6955
B	82,05	57,29	55,62	37,34
K	0,0301	0,1186	0,0370	0,1384
AIC	950,02	1001,34	460,83	483,34
DPR	559,91	852,75	62,89	82,76
R ²	0,9989	0,9975	0,9975	0,9956

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Com base nos avaliadores de qualidade de ajuste apresentados na Tabela 1, percebe-se que ambos modelos conseguem descrever satisfatoriamente ($R^2 > 99\%$) o padrão de crescimento dos dados. Esta qualidade no ajuste dos dois modelos também pode ser observada na Figura 1. Percebe-se ainda que o modelo Gompertz possui melhor qualidade de ajuste perante todos os avaliadores de qualidade utilizados, fato que também é observado no trabalho de Figueiredo et al. (2020). Assim, a discussão abaixo será tomada com base nos resultados deste modelo.

De acordo com a estimativa do parâmetro A na Tabela 1 o número total de casos, com as informações disponíveis até o 60º dia, poderia atingir o patamar de 420.885 casos confirmados. No entanto, esta estimativa aumenta-se a cada nova informação diária acrescentada nos dados, desta forma acredita-se que até ser atingido o ponto de inflexão esta tendência de crescimento deve se manter. Diferentemente do que aconteceu em outros países, no Brasil o crescimento atingiu o ponto máximo de crescimento que permaneceu constante, por vários dias, se mantendo de uma forma eu é conhecida como platô, desta maneira, de acordo com o Boletim Epidemiológico 29 (Brasil, 2020f), até o mês de agosto o país já contava com cerca de 3.846.153 casos de infecção causada pelo novo coronavírus.

Para o número de óbitos a estimativa do modelo em questão, com as informações até o 40º dia, é que alcance 24.766 mortes. Totalizando desta forma uma taxa de letalidade estimada no Brasil de $(24.766 / 420.885 = 0.0588)$ aproximadamente 5,9%. No entanto, registrou-se até agosto 120.462 óbitos pela COVID-19 no Brasil, sendo assim, a taxa de letalidade real até agosto de 2020 $(120.462/3.846.153)$ é de cerca de 3,1% (Brasil, 2020f).

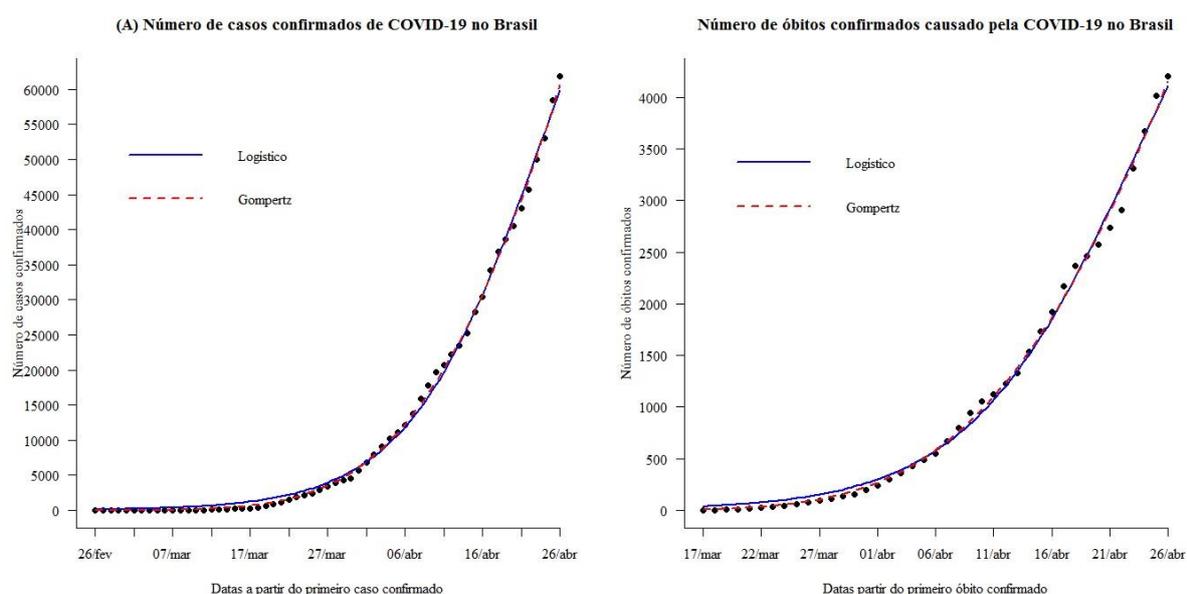
De acordo com o Boletim Epidemiológico 13 (Brasil, 2020e), a taxa de letalidade entre os primeiros 10 países com maior número de casos confirmados variam entre 0,9 à

13,4%. Desta forma, o valor estimado para a letalidade está dentro do intervalo obtido em outros países, no entanto, cabe salientar que em relação aos demais países analisados, este estudo só aborda fase inicial da epidemia no Brasil.

Conforme estimativa do parâmetro B apresentada na Tabela 1, pode-se dizer que com os dados analisados a estimativa do ponto de inflexão para o número de casos ocorreria aos 82 dias (18 de maio de 2020). Lembrando que o ponto de inflexão é onde a taxa de crescimento atinge seu máximo, a partir deste ponto o número de casos continua a crescer porém registrando cada vez menos casos que o dia anterior, assim como também pode ser observado no estudo da Divisão de Doenças de Transmissão Respiratória (2009) quando se tratou da característica de casos notificados de H1N1. Tal informação também pode ser confirmada na Figura 2 (A), pois a curva de registro de novos casos ainda não havia atingido seu máximo até o último dia observado (60°), como já mencionado, sendo que neste momento país estava confirmando aproximadamente 3500 casos por dia.

Na Figura 1 é possível verificar de forma visual o padrão de crescimento tanto para o número de casos quanto para o número de óbitos confirmados, respectivamente, bem como o ajuste dos modelos aos dados.

Figura 1. (A) Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico na descrição do crescimento do número de casos confirmados de COVID-19 no Brasil; (B) Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico na descrição do crescimento do número de óbitos confirmados causados pela COVID-19 no Brasil.

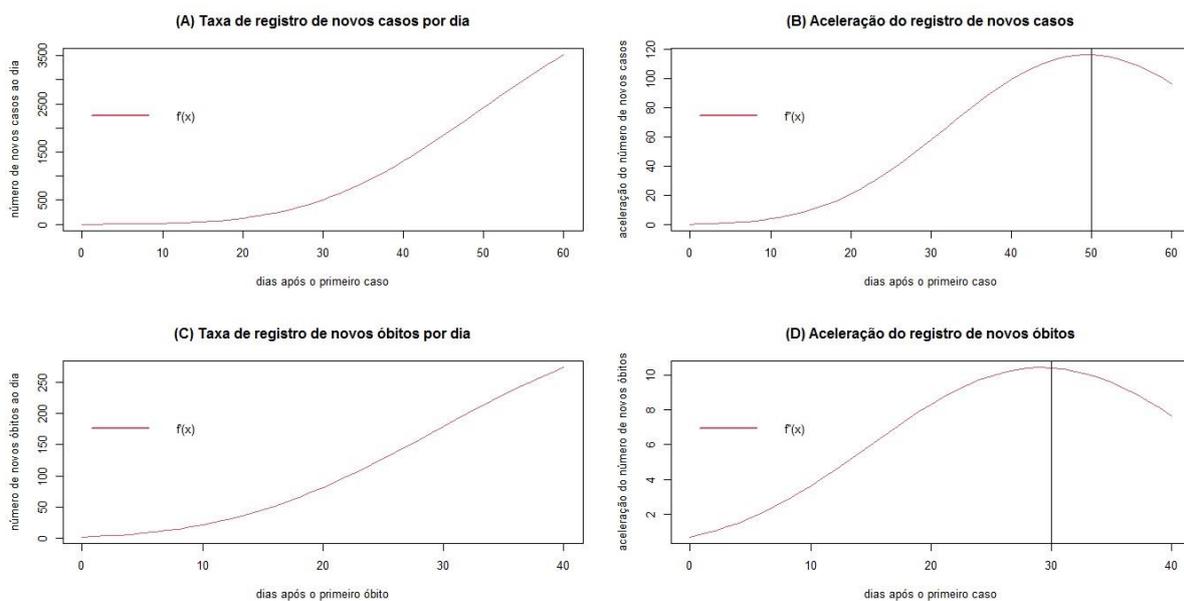


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Nota-se na Figura 1 que o crescimento se deu de forma exponencial e que graficamente os dois modelos ajustaram-se bem aos dois cenários. Na Figura 1 (A), percebe-se que no período de 26 de fevereiro à 17 de março de 2020, o aumento do número de casos se deu de forma lenta. Já na Figura 1 (B), tem-se que o período de crescimento inicial, o qual seria o mais lento do número de óbitos, se deu em um período de tempo mais curto, comparando-se o com o número de casos.

A Figura 2 apresenta a primeira e a segunda derivada do modelo Gompertz, na descrição da curva de crescimento do número acumulado de casos e óbitos, respectivamente, causadas pela COVID-19 em função do tempo.

Figura 2. Primeira (A) e segunda (B) derivada do modelo Gompertz na descrição da curva de crescimento do número de casos de COVID-19 em função do tempo; Primeira (C) e segunda (D) derivada do modelo Gompertz na descrição da curva de crescimento do número de óbitos por COVID-19 em função do tempo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na Figura 2 (B) tem-se a aceleração do número de notificação de novos casos, obtida pela segunda derivada do modelo não linear de Gompertz. Percebe-se que o PAM do número de novos casos ocorreu aproximadamente no dia 16 de abril de 2020 (50 dias após o primeiro caso). A aceleração continua é positiva porém diminuindo até ser nula no ponto de inflexão (82 dias), a partir daí esta fica negativa, desacelerando o registro de novos casos.

Contudo, pela característica da pandemia no Brasil, apresentada no Boletim Epidemiológico 29 (Brasil, 2020f), até agosto, tem-se evidências que aconteceram em momentos posteriores outros PAM's. Isso indica que, apesar das medidas adotadas do governo terem causado uma desaceleração do contágio no primeiro momento, está não se sustentou ao longo do tempo.

A estimativa do ponto de inflexão para o número de óbitos conforme a Tabela 1 será aproximadamente aos 55 dias após o registro do primeiro óbito, portanto dia 11 de maio de 2020. Na Figura 2 (C) percebe-se que o ponto de máximo do incremento do número de óbitos não foi atingido no período em estudo, estando em um patamar de cerca de 250 mortes confirmadas por dia, no entanto, parece realmente estar mais próximo que o da Figura 2 (A).

Na Figura 2 (D) pode-se verificar que o PAM do número de óbitos ocorreu também por volta do dia 16 de abril de 2020 (aproximadamente 30 dias após o primeiro óbito). Confirmando assim que a curva de crescimento do número de óbitos crescia mais rapidamente do que a do número de novos casos. Tal fato pode ser observado também pela estimativa do parâmetro k apresentado na Tabela 1, que é maior para a descrição do número de óbitos (0,0370) do que a estimativa para o número de casos (0,0301).

Por se tratar da fase inicial da pandemia, não foi realizado as análises do PDM, uma vez que, não foi atingido nenhum ponto de desaceleração máxima no período observado. De acordo com Omori et al. (2020), apesar de úteis, as curvas epidêmicas dos casos relatados nem sempre refletem a verdadeira taxa de crescimento da epidemia devido a alterações nas taxas de teste, que podem ser influenciadas pela capacidade limitada de teste de diagnóstico durante a fase inicial da epidemia ou por falta de insumos.

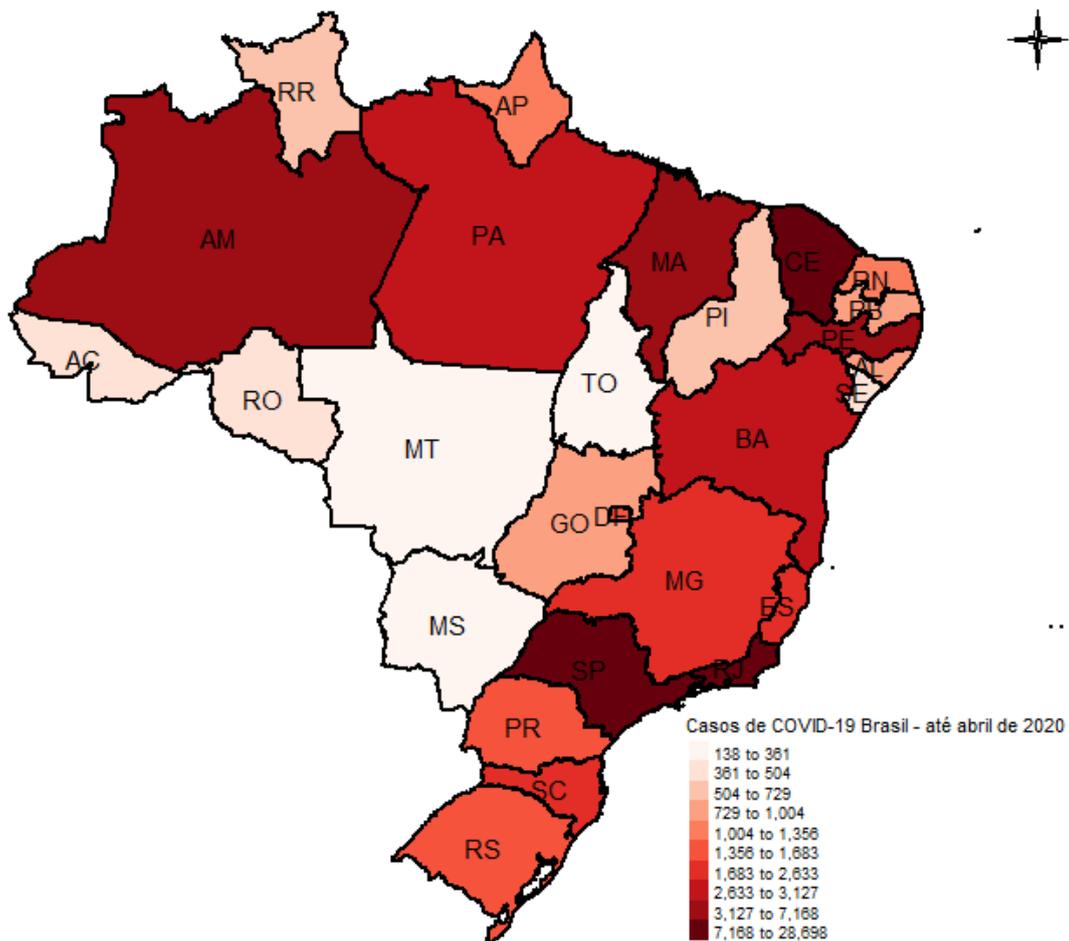
Cabe ressaltar que as estimativas do modelo são sensíveis a mudanças nos dados. E que devem ser corrigidas a cada nova informação diária. Qualquer modificação brusca de comportamento pode afetar as estimativas como a quebra da quarentena ou o início do período propício à infecção de outros vírus que atacam a função respiratória. Foram testados como se comportavam os modelos diariamente, à medida que foram sendo inseridas as informações disponíveis, e notou-se que as estimativas do valor assintótico aumentavam e a estimativa de pico eram adiados com o passar dos dias, reforçando a hipótese de que houve como achatamento da curva de contaminação.

Desta forma, neste estudo, bem como no trabalho de Santiago et al. (2020), os resultados obtidos não permitem ainda fazer projeções seguras de quando os números de casos confirmados e de mortes por COVID-19 no Brasil, mas evidenciam a crescente

intensificação de seus números exponencialmente com decréscimo esperado em algum momento o longo do tempo.

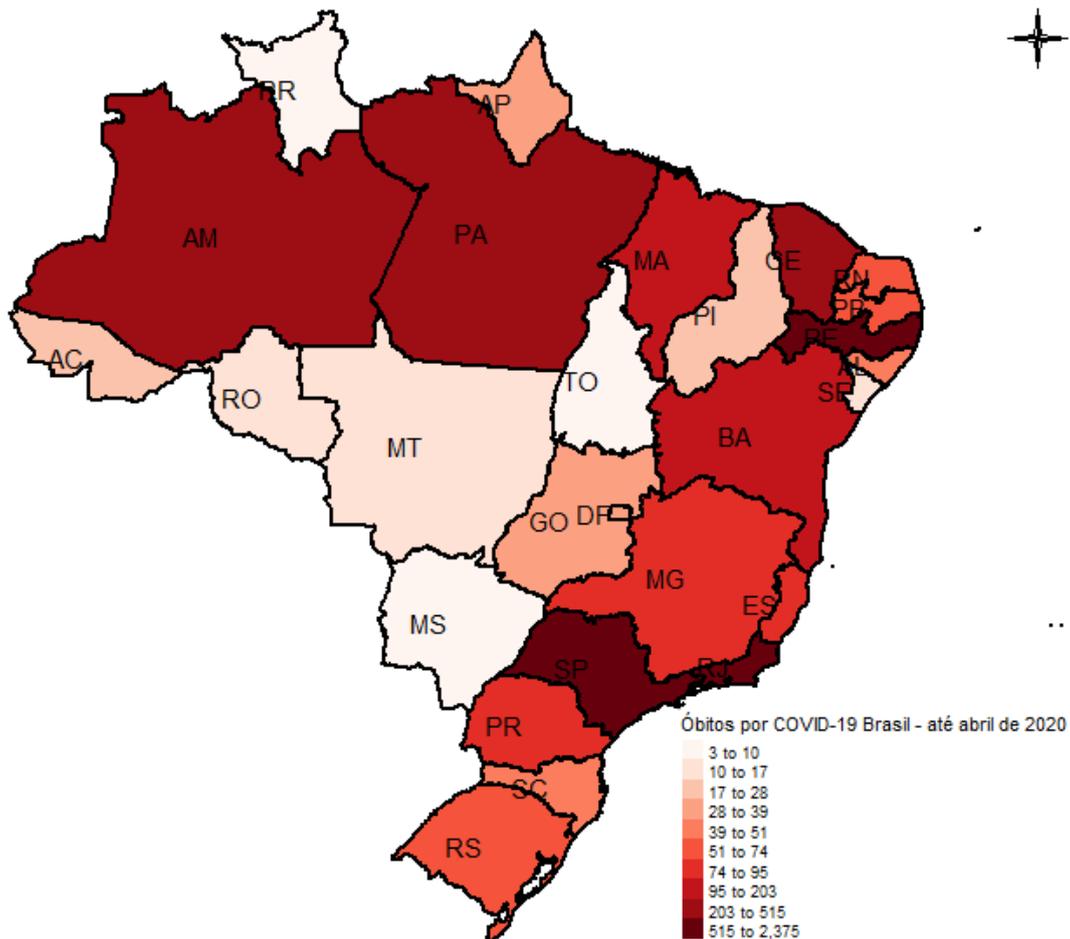
Nas Figura 3 e 4 é possível verificar a totalidade de número de casos e óbitos, respectivamente, do novo coronavírus nos estados brasileiros até abril de 2020.

Figura 3. Número de casos da COVID-19 nos estados brasileiros até o mês de abril de 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 4. Número de óbitos da COVID-19 nos estados brasileiros até o mês de abril de 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As Figuras 3 e 4 descrevem o comportamento da doença até mês de abril para os estados brasileiros. A Figura 3 apresenta o número de casos registrados, nota-se uma concentração nos estados que compõe as regiões norte e nordeste além dos estados de São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ), na região sudeste. Com relação ao número de mortes registrados (Figura 4), observa-se maior concentração nos estados do Amazonas (AM), Pará (PA), Ceará (CE), Pernambuco (PE), SP e RJ.

Um fato interessante é que, apesar dos estados do AM e do PA apresentarem alta concentração de casos registrados (Figura 3), o número de mortes registrados é

consideravelmente maior no AM (425 óbitos) em relação ao estado do PA (208 óbitos). Destaca-se também uma mudança de comportamento no número de casos e mortes registrados no estado de Roraima (RR), tem-se que em relação ao número de casos (Figura 3) esse estado apresenta baixa incidência de óbitos (Figura 4). Entretanto, no estado do Maranhão (MA), o efeito é inverso, este fato pode ser um indício de condições precárias de atendimento hospitalar nesse estado ou falta de planejamento para o início da pandemia.

Os estados mais afetados pela fase inicial da pandemia no Brasil foram AM, PA, CE, PE, SP e RJ, os quais também foram observados nos estudos de França et al. (2020) e Amaral et al.(2020), com isso, sugere-se que, principalmente nestes estados, sejam feitos protocolos detalhados de investigação do número de casos e óbitos causadas pela COVID-19. Estas informações são essenciais para que os governos, em todas as suas esferas administrativas, e a sociedade, para que possam tomar medidas eficazes de planejamento para outras doenças, principalmente as infectocontagiosas, que possam vir a surgir no Brasil.

4. Considerações Finais

Os modelos não lineares Gompertz e Logístico apresentaram boa qualidade de ajuste tanto aos dados de crescimento do número de casos quanto do número de óbitos confirmados no período estudado, desta forma, suas estimativas são uma importante ferramenta para a predição dos casos de COVID-19, na fase inicial da pandemia no Brasil. O modelo Gompertz se mostra mais adequado para modelar o comportamento destes dados perante todos os avaliadores de qualidade utilizados. Foi possível verificar a taxa de crescimento e estimar a aceleração máxima do aumento dos números de casos e óbitos no período em estudo.

As estimativas de pico (ponto de inflexão) e assíntota fornecidas pelo modelo Gompertz pode auxiliar os profissionais da saúde na tomada de decisões. No entanto, naturalmente estas estimativas foram mudando a cada atualização da série de dados. O ponto de inflexão foi-se adiando a cada nova inserção diária de informação, indicando o achatamento da curva, no momento analisado, ou seja, apesar de momentânea, de forma geral, as medidas tomadas no início da pandemia suavizaram o aumento de casos e óbitos. Sendo que, os estados de AM, PA, CE, PE, SP e RJ foram os mais afetados pela fase inicial da pandemia no Brasil.

Como trabalho futuro, os autores propõem uma investigação em cada estado da federação, identificando os períodos onde houveram uma taxa maior aceleração do contágio e dos óbitos associados à COVID-19, relacionando estes períodos às medidas realizadas, a fim de verificar a sua eficácia.

Agradecimentos

Felipe Augusto Fernandes agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a bolsa de Doutorado; e Joel Augusto Muniz agradece ao CNPq, a bolsa de Produtividade em Pesquisa. Todos os autores agradecem ao núcleo de estudos em regressão não linear aplicada (NLIN), do Departamento de Estatística da Universidade Federal de Lavras.

Referências

Amaral, M. T. R., Conceição, K. S., Andrade, M. G., & Padovani, C. R. (2020). Generalized growth curve model for covid-19 in brazilian states. *Revista Brasileira de Biometria*, Lavras, 38(2), 125-46. DOI: 10.28951/rbb.v38i2.481

Brasil (2020a). Ministério da Saúde. *Brasil confirma primeiro caso da doença*. Recuperado de: <https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/46435-brasil-confirma-primeiro-caso-de-novo-coronavirus>

Brasil (2020b). Ministério da Saúde. *Ministério da Saúde declara transmissão comunitária nacional*. Recuperado de <https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/46568-ministerio-da-saude-declara-transmissao-comunitaria-nacional>

Brasil (2020c). Ministério da Saúde. *Painel Coronavírus*. Recuperado de <https://covid.saude.gov.br/>

Brasil (2020d). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Epidemiológica. *Boletim Epidemiológico 01 de 03/02/2020*. Centro de Operações de Emergências em Saúde Pública/Doenças pelo Coronavírus 2019 (COE-nCOV). Infecção Humana pelo Novo Coronavírus (2019-nCov). Brasil: Ministério da Saúde; 2020. Recuperado de

<https://www.saude.gov.br/images/pdf/2020/fevereiro/04/Boletim-epidemiologico-SVS-04fev20.pdf>

Brasil (2020e). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Epidemiológica. *Boletim Epidemiológico 13 de 20/04/2020*. Centro de Operações de Emergências em Saúde Pública/Doenças pelo Coronavírus 2019 (COECOV19). Situação Epidemiológica Doença pelo coronavírus 2019. Brasil: Ministério da Saúde. Recuperado de <https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/April/21/BE13---Boletim-do-COE.pdf>

Brasil (2020f). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Epidemiológica. *Boletim Epidemiológico 29 de 02/10/2020*. Centro de Operações de Emergências em Saúde Pública/Doenças pelo Coronavírus 2019 (COECOV19). Doença pelo Coronavírus 2019 [Internet]. Brasil: Ministério da Saúde. Recuperado de <https://saude.gov.br/images/pdf/2020/September/02/18h-Boletim-epidemiologico-COVID-29-final.pdf>

Brasil (2020g). Ministério da Saúde. *Sobre a Doença*. Recuperado de <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#transmissao>.

Corrêa, P. R. L., Ishitani L. H., Abreu, D. M. X., Teixeira, R. A., Marinho, F., & França, E. B. (2020). A importância da vigilância de casos e óbitos e a epidemia da COVID-19 em Belo Horizonte, 2020. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 23, e200061, 2020. DOI: 10.1590/1980-549720200061

Divisão de Doenças de Transmissão Respiratória, Centro de Vigilância Epidemiológica “Prof. Alexandre Vranjac”. Coordenadoria de Controle de Doenças. Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. (2009). Características dos casos notificados de Influenza A/H1N1. *Rev Saúde Pública*, 43(5), 900-904.

Fernandes, T.J., Muniz, J. A., Pereira, A. A., Muniz, F. R., & Muianga, C. A. (2015). Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. *Acta Scientiarum. Technology*, 37(4), 397-402. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i4.27855>

Figueiredo, M. P. S., Santos, A. L. P., Ferreira, T. A. E., & Queiroz, M. P. L. J. (2020). Long-Term Time Prediction of Cumulative Number of Deaths in Brazil, China, Germany, Italy, Spain, the United States: an application to COVID-19 S-shaped models. *Research, Society and Development*, 9(8), 1-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6565>

França, E. B., Ishitani, H. L., Teixeira, R. A., Abreu, D. M. X., Corrêa, P. R. L., Marinho, F., & Vasconcelos, A. M. N. (2020). Óbitos por COVID-19 no Brasil: quantos e quais estamos identificando? *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 23. DOI: 10.1590/1980-549720200053

Guan, W. -J., Ni, Z.-Y., Hu, Y., Liang, W. -H., Ou, C. -Q., He, J. -X., Liu, L., Hong Shan, H., Lei, C. -L., Hui, D. S. C., Du, B., Lan-juan Li, L. -J., Zeng, G., Yuen, K. -Y., Chen R. -C., Tang, C. -L., Wang, T., Chen, P. -Y., Xiang, J., Li, S. -Y., Wang, J. -L., Liang, Z. -J., Peng Y. -X., Wei, L., Liu, Y., Hu, Y. -H., Peng, P., Wang, J. -M., Liu, J. -Y., Chen, Z., Li, G., Zheng, Z. -J., Qiu, S. -Q., Luo, J., Ye, C. -J., Zhu, S. -Y. & Zhong N. -S. (2020). Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *New England Journal of Medicine*, 2020. DOI: 10.1056/NEJMoa2002032

Lenzi, L., Mello, A. M., Silva, L. R., Grochocki, M. H. C., & Pontarolo, R. (2012) Influenza pandêmica A (H1N1) 2009: fatores de risco para o internamento. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 38(1), 57-65. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-37132012000100009>

Mazucheli, J., & Achcar, J. Algumas considerações em regressão não linear. (2002). *Acta Scientiarum. Technology*, 24, 1761-1770. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v24i0.2551>

Mischán, M. M., & Pinho, S. Z. de. *Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014.

Omori, R., Mizumoto, K., & Chowell, G. (2020). Changes in testing rates could mask the novel coronavirus disease (COVID-19) growth rate. *International Journal of Infectious Diseases*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.021>

Paules, C.I., Marston, H.D., & Fauci, A.S. (2020) Coronavirus infections - more than just the common cold. *Jama*, 323(8), 707-708. DOI: 10.1001/jama.2020.0757

Pereira A.S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica. [e-book]*. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

R Core Team. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, 2020. Recuperado de <https://www.Rproject.org/>

Santiago, E. J. P., Freire, A. K. S., Cunha Filho, M., Moreira, G. R., Ferreira, D. A. S., & Cunha, A. L. X. (2020). Modelos não lineares aplicados a mortalidade e casos da COVID-19 no Brasil, Itália e mundo. *Research, Society and Development*, 9(6), 1-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6565>

Santos, A. L. P., de Figueiredo, M. P. S., Ferreira, T. A. E., Gomes-Silva, F., Moreira, G. R., Silva, J. E., & de Freitas, J. R. (2020). Analysis and forecasting of the evolution of COVID-19 death numbers in the state of Pernambuco and Ceará using regression models. *Research, Society and Development*, 9(7), 1-24. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4551>

Wilde, A.H., Snijder, E.J., Kikkert, M., & van Hemert, M.J. (2017). Host factors in coronavirus replication. In: Roles of Host Gene and Non-coding RNA Expression in Virus Infection. *Springer*, 1-42. DOI: 10.1007/82_2017_25

World Health Organization [WHO] (2020a). *Coronavirus*. Recuperado de: <https://www.who.int/health-topics/coronavirus>

World Health Organization [WHO] (2020b). Director-General's statement on IHR Emergency Committee on Novel Coronavirus (2019-nCoV). *Health Emergency of International Concern declared*. Recuperado de: [https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-statement-on-ihremergency-committee-on-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-statement-on-ihremergency-committee-on-novel-coronavirus-(2019-ncov))

World Health Organization [WHO] (2020c). *Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 – 11 March 2020*. Recuperado de: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>

Yang, W., Zhang, D., Peng, L., Zhuge, C., & Hong, L. (2020). Rational evaluation of various epidemic models based on the COVID-19 data of China. *arXiv preprint arXiv:2003.05666*.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Felipe Augusto Fernandes – 40%

Henrique José de Paula Alves – 25%

Tales Jesus Fernandes – 20%

Joel Augusto Muniz – 15%