

Modelos não lineares aplicados a mortalidade e casos da COVID-19 no Brasil, Itália e mundo

Non-linear models applicable to mortality and cases of COVID-19 in Brazil, Italy and the world

Modelos no lineales aplicables a mortalidad y casos de COVID-19 en Brasil, Italia y el mundo

Recebido: 07/04/2020 | Revisado: 17/04/2020 | Aceito: 17/04/2020 | Publicado: 20/04/2020

Edgo Jackson Pinto Santiago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3981-7635>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: edgoj@hotmail.com

Ana Karla da Silva Freire

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0338-9536>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: akarlasf@hotmail.com

Moacyr Cunha Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3466-8143>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: moacyr.cunhafo@ufrpe.br

Guilherme Rocha Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6344-1151>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: guirocham@gmail.com

Denise Stéphanie de Almeida Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5150-9331>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: deniialmeida@gmail.com

Ana Luíza Xavier Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3678-4340>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: analuizaxcunha@gmail.com

Resumo

Um crescente número de casos de infecção e mortes pelo COVID-19 vem sendo constatado em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil. Enquanto cientistas buscam algum medicamento/vacina capaz de combater a COVID-19 sua ação devastadora espalha-se sem controle. Neste contexto, estudos estatísticos e análises preliminares da situação epidêmica podem ser importantes para fornecer base na prevenção e controle da doença. Com isso, o objetivo deste trabalho foi ajustar modelos de regressão não linear a dados de mortalidade e casos confirmados da COVID-19 no Brasil, Itália e mundo até 31/03/2020. Utilizaram-se dados do Ministério da Saúde do Brasil e da Organização Mundial de Saúde. A comparação dos modelos foi realizada pelo critério de informação de Akaike e pelo critério de informação bayesiano bem como pelos coeficientes de determinação e de determinação ajustado, além da raiz quadrada do erro quadrático médio. Todos os modelos apresentados foram adequados para modelar as variáveis estudadas. Ainda não é possível fazer projeções seguras de quando os números de casos confirmados e de mortes diminuirão. O distanciamento social no Brasil está sendo eficaz para restringir a progressão da doença por reduzir a velocidade de infecção e transmissibilidade.

Palavras-chave: Regressão não linear; Coronavírus; Pandemia; Distanciamento social.

Abstract

An increasing number of cases of infection and death by COVID-19 has been observed in several parts of the world, including Brazil. While scientists are looking for a drug / vaccine capable of combating COVID-19, its devastating action is spreading out of control. In this context, statistical studies and preliminary analyzes of the epidemic situation may be important to provide a basis for disease prevention and control. Thus, the objective of this work was to adjust nonlinear regression models to mortality data and confirmed cases of COVID-19 in Brazil, Italy and the world until 03/31/2020. Data from the Ministry of Health of Brazil and the World Health Organization were used. The models were compared using the Akaike information criterion and the Bayesian information criterion, as well as the determination and adjusted determination coefficients, in addition to the square root of the mean square error. All models presented were adequate to model the studied variables. It is not yet possible to make reliable projections of when the numbers of confirmed cases and deaths will decrease. Social detachment in Brazil is being effective in restricting the progression of the disease by reducing the speed of infection and transmissibility.

Keywords: Non-linear regression; Coronaviruses; Pandemic; Social distance.

Resumen

Se ha observado un número creciente de casos de infección y muerte por COVID-19 en varias partes del mundo, incluido Brasil. Mientras los científicos buscan un medicamento / vacuna capaz de combatir el COVID-19, su acción devastadora se está extendiendo fuera de control. En este contexto, los estudios estadísticos y los análisis preliminares de la situación epidémica pueden ser importantes para proporcionar una base para la prevención y el control de enfermedades. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue ajustar los modelos de regresión no lineal a los datos de mortalidad y los casos confirmados de COVID-19 en Brasil, Italia y el mundo hasta el 31/03/2020. Se utilizaron datos del Ministerio de Salud de Brasil y de la Organización Mundial de la Salud. Los modelos se compararon utilizando el criterio de información de Akaike y el criterio de información bayesiano, así como la determinación y los coeficientes de determinación ajustados, además de la raíz cuadrada del error cuadrático medio. Todos los modelos presentados fueron adecuados para modelar las variables estudiadas. Todavía no es posible hacer proyecciones confiables de cuándo disminuirá el número de casos confirmados y muertes. El desapego social en Brasil está siendo efectivo para restringir la progresión de la enfermedad al reducir la velocidad de infección y transmisibilidad.

Palabras clave: Regresión no lineal; Coronavirus; Pandemia; Distancia social.

1. Introdução

Na cidade de Wuhan, China, surgiu no final de 2019 um contagioso vírus denominado COVID-19, semelhante ao coronavírus SARS e coronavírus MERS (Liu et al., 2020). Desde então o número de casos de infecção pulmonar associada a este agente etiológico vem aumentando, disseminando-se em outras cidades do país e espalhando-se para diversas regiões do mundo (Li et al., 2020), inclusive para Brasil.

De acordo com Winichakoon et al., (2020) a doença tornou-se emergência em saúde pública de preocupação internacional, já que a infecção tem representado um grande desafio à saúde e a economia mundial (Reinholz & French, 2020). Diante dos casos globais a doença foi declarada pandemia pela Organização Mundial da Saúde em 11 de março de 2020, o que significa dizer que no momento existem surtos de COVID-19 em vários países e regiões do mundo (OPAS, 2020), ocasionando estado de calamidade pública.

Enquanto cientistas do mundo todo buscam algum medicamento ou vacina capaz de combater a COVID-19, sua ação devastadora espalha-se sem controle por todo globo,

aumentando o número de mortes e de novos casos confirmados que crescem vertiginosamente e, de acordo com Jung et al., (2020) e Zhao et al. (2020), de maneira exponencial.

Em vista a suscetibilidade geral das populações a essa doença infecciosa e para entender a evolução e as mudanças temporais da epidemia de COVID-19 no Brasil, estudos estatísticos comparativos e análises preliminares da situação epidêmica podem ser importantes para fornecer base na prevenção, controle e avaliação do atual cenário epidemiológico.

Neste sentido, diversas são as possibilidades de frentes de estudos, dentre as quais a utilização de modelos de regressão linear ou não linear. De acordo com Möllenhoff, Bretz e Dette (2019), modelos de regressão são comumente utilizados para descrever a relação entre uma ou múltiplas covariáveis e uma variável resposta. Meng et al., (2020) utilizaram curvas de crescimento para avaliar o número de casos confirmados de COVID-19 em meio as medidas integradas de prevenção e controle na província de Anhui, China. Na ocasião os autores estimaram os parâmetros do modelo de regressão não linear utilizando o algoritmo Levenberg-Marquardt.

Do exposto, o objetivo deste trabalho foi ajustar diferentes modelos de regressão não linear a dados de mortalidade e casos confirmados da COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo além de buscar indícios da efetividade do distanciamento social em prática no Brasil.

2. Metodologia

Foi utilizado dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde do Brasil e pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para ajustar modelos de regressão não lineares às variáveis número de mortes pela COVID-19 e número de casos confirmados de COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020. Esses dados representam os números acumulados ao longo da evolução da doença.

Para modelar adequadamente os dados de cada local, inicialmente selecionaram-se os dois melhores de um rol de mais de 70 modelos candidatos. A seleção foi realizada com base na raiz quadrada do erro quadrático médio dos modelos, coeficiente de determinação e determinação ajustado.

Para o número de mortes pela COVID-19 no Brasil, Itália e mundo até 31/03/2020, foram selecionados e ajustados os seguintes modelos não lineares:

- Para mundo

$$f(x) = c \left(1 + \frac{bx}{a} \right)^{-\frac{1}{b}}, \text{ modelo de declínio hiperbólico (HD);} \quad (1)$$

$$f(x) = (a + bx)^{-\frac{1}{c}}, \text{ modelo Bleasdale (B);} \quad (2)$$

- Para o Brasil

$$f(x) = ab^x c^x, \text{ modelo de Hoerl (H);} \quad (3)$$

$$f(x) = c \left(1 + \frac{bx}{a}\right)^{-\frac{1}{b}}, \text{ modelo de declínio hiperbólico (HD);} \quad (4)$$

- Para a Itália

$$f(x) = a \exp\left\{-\frac{(x-b)^2}{2c^x}\right\}, \text{ modelo gaussiano (G);} \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{b}\right)^c}, \text{ modelo poder logístico (PG);} \quad (6)$$

em que x representa o número de dias a partir da primeira morte confirmada no respectivo local.

Para o número de casos confirmados de COVID-19 foram selecionados e ajustados os seguintes modelos não lineares:

- Para mundo

$$f(x) = \frac{(a+bx)}{1+cx+dx^2}, \text{ modelo racional (R);} \quad (7)$$

$$f(x) = c \left(1 + \frac{bx}{a}\right)^{-\frac{1}{b}}, \text{ modelo de declínio hiperbólico (HD);} \quad (8)$$

- Para o Brasil

$$f(x) = a \exp\left(\frac{b}{x}\right), \text{ modelo exponencial modificado (E);} \quad (9)$$

$$f(x) = \exp\left\{a + \frac{b}{x} + \ln(x)c\right\}, \text{ modelo pressão de vapor (PV);} \quad (10)$$

- Para a Itália

$$f(x) = a \exp\left\{-\frac{(x-b)^2}{2c^x}\right\}, \text{ modelo gaussiano (G);} \quad (11)$$

$$f(x) = a - b \exp\{-cx^{3,81}\}, \text{ modelo Weibull (W);} \quad (12)$$

em que x representa o número de dias a partir do primeiro caso confirmada no respectivo local.

Para verificar a taxa de letalidade da COVID-19 no Brasil, Itália e mundo até 31/03/2020 foi realizado análise de regressão linear simples. A taxa de letalidade da doença foi obtida pela Eq. 13.

$$\text{Taxa de letalidade} = \frac{\text{número de casos confirmados da COVID-19}}{\text{número de mortes confirmadas pela COVID-19}}, \quad (13)$$

A comparação dos dois modelos selecionados para cada local foi realizada pelo critério de informação (AIC) de Akaike (1973) e pelo critério de informação bayesiano (BIC) de Schwarz's (1978). Foram utilizados, ainda, o coeficiente de determinação e de determinação ajustado, além da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) de cada modelo como sugerido por Zalina et al. (2018).

Os parâmetros foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários, sendo as estimativas (Coef.) dos mesmos verificadas pelo teste t de Student a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%. Além disso, determinaram-se o erro padrão (EP) de cada estimativa, bem como o intervalo de confiança (IC_{95%}) para a mesma construído com 95% de chance de conter o verdadeiro valor do parâmetro.

3. Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentadas as estatísticas dos critérios de seleção de modelos utilizados para escolher o modelo não linear mais adequado para modelar a variável número de mortes no Brasil, Itália e no mundo. Verifica-se que no mundo, os dois modelos testados apresentaram os mesmos valores para as estatísticas AIC, BIC e RMSE, sendo por sua vez equivalentes para modelar essa variável. Por serem equivalentes, optou-se pelo o modelo B para representação gráfica dessa variável no mundo.

Ainda pela Tabela 1 verifica-se que no Brasil e na Itália os modelos mais adequados para modelar o número de mortes foi o H e LP, respectivamente, por terem apresentado as menores estatísticas AIC, BIC e RMSE, quando comparado a seu concorrente local.

Tabela 1. Critérios de seleção de modelos aplicados a variável número de mortes por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020.

Local	Modelo	AIC	BIC	R ²	R ² _{ajustado}	RMSE
Mundo	HD	1111,85	1118,55	0,9957	0,9955	747,454
	B	1111,85	1118,55	0,9957	0,9955	747,454
Brasil	HD	73,6927	75,8169	0,9993	0,9992	2,58327
	H	70,9804	73,1046	0,9994	0,9993	2,35996
Itália	G	422,78	427,692	0,9999	0,9998	60,7108
	LP	413,402	418,315	0,9999	0,9999	53,6634

Na Tabela 2 encontram-se as estimativas dos parâmetros (Coef.) de cada modelo com seus respectivos erros-padrão (EP) e intervalo de confiança (IC_{95%}). Verifica-se que com exceção do modelo HB para o Brasil, que teve o parâmetro c não significativo a uma probabilidade de 5%. Todos os modelos apresentam estimativas dos seus coeficientes significativos a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%, demonstrando que os modelos propostos e ajustados podem ser utilizados para realizar estimativas.

É importante lembrar que, para as estimativas do número de mortes no Brasil, o modelo indicado como melhor foi o H, não sendo o modelo HD, por ter um dos parâmetros não significativos, recomendado para predições.

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros (Coef.) com respectivos erros-padrão (EP), estatísticas de teste t (t) e intervalo de confiança (IC_{95%}) de cada modelo aplicados a variável número de mortes por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020.

Local	Modelo	Parâ.	Coef.	EP	t	P > t	IC _{95%}	
Mundo	HD	a	260,1458	50,53	5,15	0,0000	159,264	361,028
		b	0,233501	0,03	7,7	0,0000	0,173	0,294
		c	-23,7932	1,93	-12,32	0,0000	-27,648	-19,938
	B	a	0,272925	0,06	4,69	0,0000	0,157	0,389
		b	-0,00268	0,00	-6,08	0,0000	-0,004	-0,002
		c	0,233502	0,03	7,7	0,0000	0,173	0,294
Brasil	HD	a	-1,141677	0,38	-2,99	0,0110	-1,974	-0,309
		b	-0,32049	0,04	-8,78	0,0000	-0,400	-0,241
		c	1,137707	0,63	1,79	0,0980	-0,245	2,520
	H	a	1,14033	0,34	3,31	0,0060	0,390	1,891
		b	1,080639	0,02	50,92	0,0000	1,034	1,127
		c	1,473393	0,22	6,82	0,0000	1,003	1,944
Itália	G	a	15333,6	277,38	55,28	0,0000	14770,48	15896,71
		b	45,44505	0,36	127,59	0,0000	44,722	46,168
		c	11,30702	0,14	127,59	0,0000	11,016	11,598
	LP	a	28515,130	1026,89	27,77	0,0000	26430,43	30599,83
		b	40,24752	0,57	70,68	0,0000	39,091	41,404
		c	-4,46619	0,05	-82,58	0,0000	-4,576	-4,356

Apresentam-se nas Figura 1 e 2 os números de mortes na Itália, Brasil e no mundo e sua respectiva estimativa pelos modelos não lineares (LP, H e B) selecionados como os melhores para cada local. Nelas é possível ver o ajuste satisfatório produzido pelos respectivos modelos não lineares empregados, bem como a forte ascensão do número de mortes ao longo do tempo.

Figura 1. Ajustes de modelos não lineares aos números de mortes (obs) por COVID-19 no Brasil (modelo H), Itália (modelo LP) e no mundo (modelo B) até 31/03/2020.

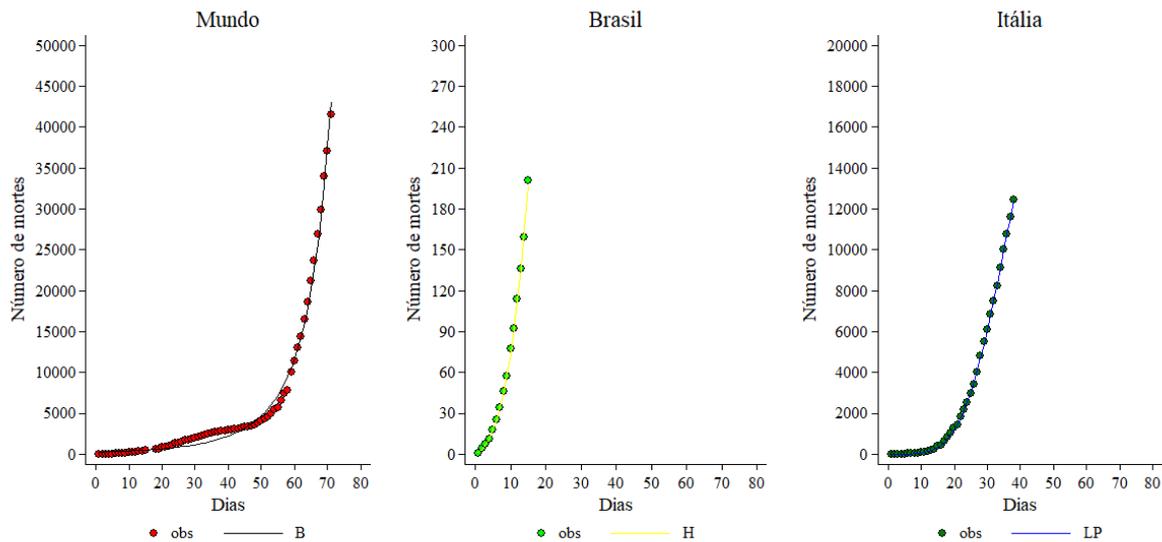
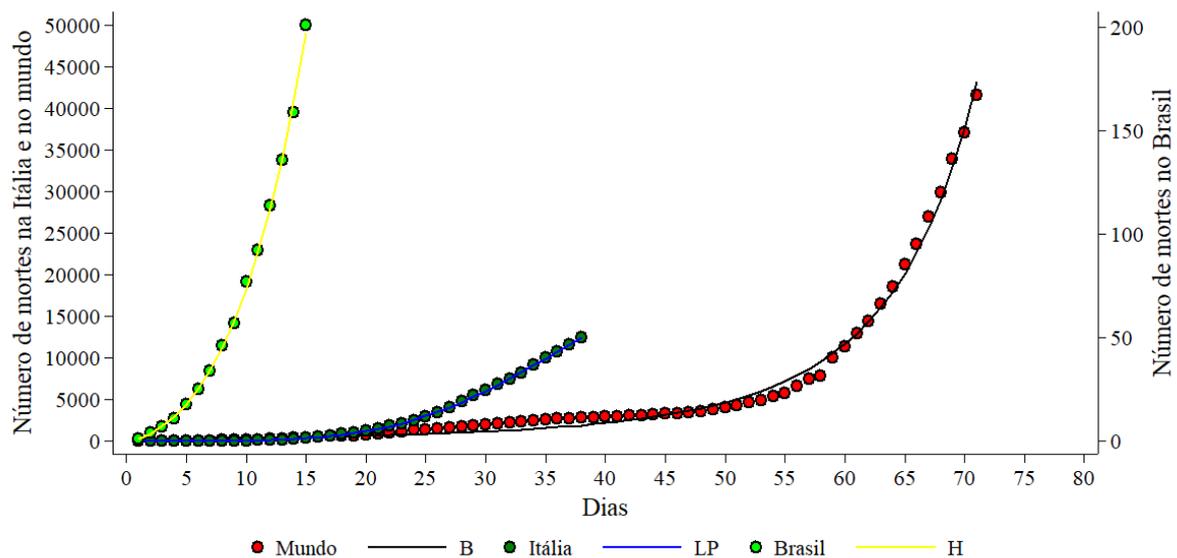


Figura 2. Ajustes de modelos não lineares aos números de mortes por COVID-19 no Brasil (modelo H), Itália (modelo LP) e no mundo (modelo B) até 31/03/2020.



Quando se compara o número médio de mortes no Brasil (65,46) com os da Itália (87,53) nos primeiros 15 dias, desde a confirmação da primeira morte em cada país, verifica-se que não há diferença significativa pelo teste t de Student a uma probabilidade de erro de 5%, o que sugere evolução de acometimento de mortes pela COVID-19 similar nos dois países.

Ao estimar o número de morte para o Brasil no 38º dia, equivalente a data 23/04/2020, considerando que a tendência de morte continue semelhante às verificadas até o dia 31/03/2020, a estimativa pelo modelo H é de haver 4.619 mortos. No mesmo período, a Itália já registrava

12.428 mortes pela COVID-19, ou seja, se mantida a projeção para o Brasil a estimativa é uma redução de 62,8% das mortes em relação a Itália. Essa projeção, ao se confirmar, deverá ser resultante do distanciamento social praticado no Brasil de modo antecipado em relação a Itália, a qual demorou a fazer isso.

O estudo realizado por Li et al., (2020) com os primeiros 425 casos confirmados em Wuhan na China, forneceu evidências de transmissão de humano para humano por contato próximo. Estes autores sugeriram que medidas para impedir ou reduzir a transmissão fossem implementadas, sobretudo em populações de risco. Desde então, diversas nações e, dentre elas o Brasil, vem implementando o distanciamento social, que, de acordo com Song e Karako (2020), reduz a progressão da doença. Segundo Medeiros et al. (2020) o distanciamento social visa separar pessoas sintomáticas ou não e impedir, com isso, a disseminação do agente etiológico infeccioso.

Na Tabela 3 encontram-se as estatísticas dos critérios de seleção de modelos utilizados para escolher o modelo não linear mais adequado para modelar a variável casos de COVID-19 confirmados no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020.

Apesar de todos os modelos apresentarem excelentes coeficientes de determinação (R^2) e determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$), com valores maiores que 0,99, os modelos indicados como melhores, segundo os critérios AIC, BIC e RMSE foram o R, EM e G, respectivamente, para o mundo, Brasil e Itália.

Tabela 3. Critérios de seleção de modelos aplicados a variável casos de COVID-19 confirmados no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020.

Local	Modelo	AIC	BIC	R^2	$R^2_{ajustado}$	RMSE
Mundo	R	1541,17	1550,11	0,9956	0,9954	16661,6
	HD	1569,96	1576,67	0,9932	0,9929	20668,3
Brasil	EM	327,051	329,715	0,9987	0,9985	80,3893
	PV	329,032	333,029	0,9987	0,9985	81,9536
Itália	G	587,625	592,538	0,9999	0,9999	531,201
	W	594,949	599,862	0,9997	0,9997	584,943

Na Tabela 4 encontram-se as estimativas dos parâmetros de cada modelo com seus respectivos erros-padrão (EP) e intervalos de confiança ($IC_{95\%}$). Verifica-se que apenas o modelo PV apresentou um dos seus parâmetros não significativo, ou seja, o parâmetro c foi estatisticamente igual a zero e, portanto, o modelo PV não deve ser utilizado para realizar estimativas.

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros (Coef.) com respectivos erros-padrão (EP), estatísticas de teste t (t) e intervalo de confiança (IC_{95%}) de cada modelo aplicados a variável casos de COVID-19 confirmados no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020.

Local	Modelo	Parâ.	Coef.	EP	t	P > t	IC _{95%}	
Mundo	R	a	24217,16	2099,59	11,53	0,0000	20023,990	28410,320
		b	-218,8775	49,6174	-4,41	0,0000	-317,970	-119,785
		c	-0,0278889	0,00025	-113	0,0000	-0,028	-0,027
		d	0,0001964	3,23E-06	60,77	0,0000	0,000	0,000
	HD	a	-31,7875	2,41156	-13,2	0,0000	-36,602	-26,973
		b	0,3494881	0,03958	8,83	0,0000	0,270	0,429
c		15270,43	2102,68	7,26	0,0000	11072,290	19468,570	
Brasil	EM	a	82279,91	4665,4	17,64	0,0000	72690,030	91869,780
		b	-76,63553	1,40071	-54,7	0,0000	-79,515	-73,756
	PV	a	10,97146	2,56763	4,27	0,0000	5,683	16,260
		b	-74,75133	14,0317	-5,33	0,0000	-103,650	-45,853
		c	0,0840306	0,6227	0,13	0,8940	-1,198	1,366
Itália	G	a	114821,1	1109,39	103,5	0,0000	112568,90	117073,30
		b	42,79583	0,24223	176,7	0,0000	42,304	43,288
		c	11,78106	0,1139	103,4	0,0000	11,550	12,012
	W	a	134358,4	1272,3	105,6	0,0000	131775,50	136941,40
		b	133642,3	1228,16	108,8	0,0000	131149,0	136135,6
		c	1,50E-06	2,47E-08	60,61	0,0000	1,45E-06	1,55E-06

Nas Figuras 3 e 4 encontram-se os números de casos confirmados de COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020 e respectivas estimativas pelos modelos não lineares (EM, R e G) selecionados como os melhores para cada local. Nelas é possível ver o bom ajuste produzido por cada um dos modelos não lineares empregados bem como o comportamento crescente do número de casos confirmados ao longo do tempo.

Figura 3. Ajustes de modelos não lineares aos números de casos confirmados (obs) de COVID-19 no Brasil (modelo EM), Itália (modelo G) e no mundo (modelo R) até 31/03/2020.

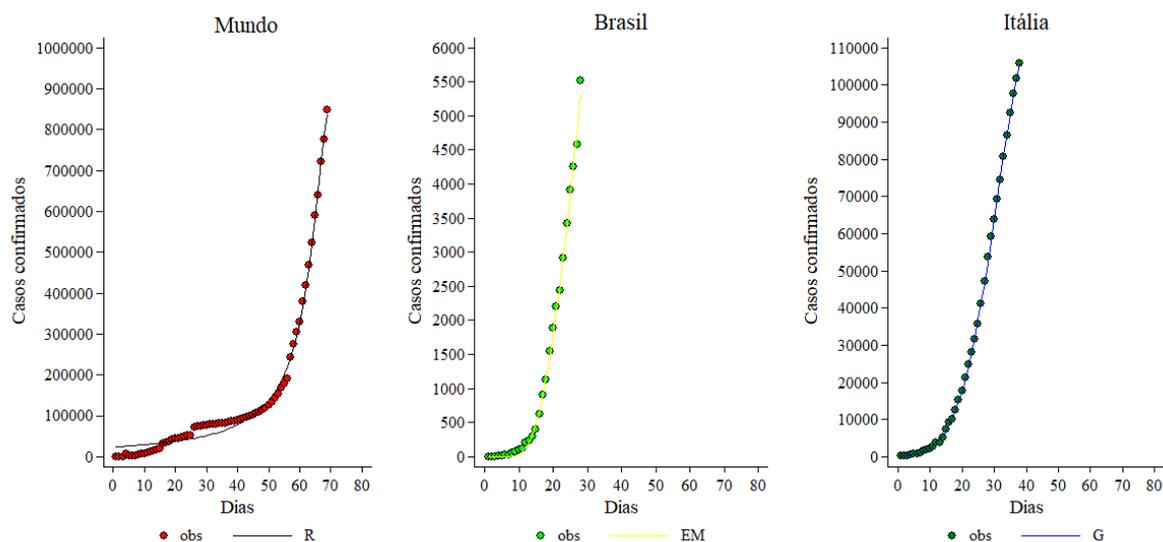
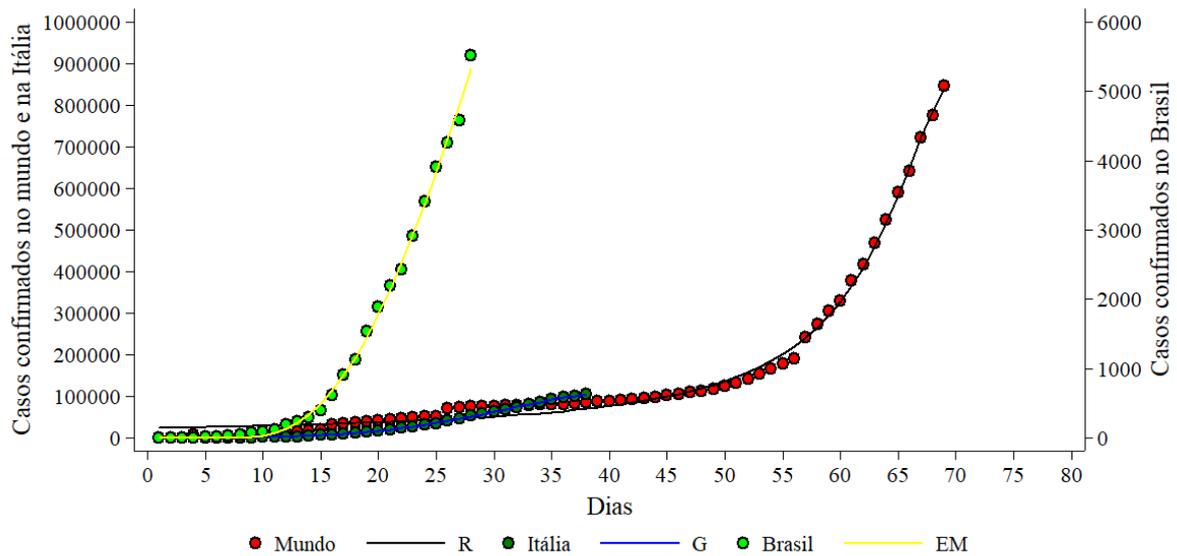


Figura 4. Ajustes de modelos não lineares aos números de casos confirmados de COVID-19 no Brasil (modelo EM), Itália (modelo G) e no mundo (modelo R) até 31/03/2020.



Desde o primeiro caso confirmado em 29/02/2020 até 31/03/2020 (28 primeiros dias de casos) as medidas de distanciamento social no Brasil, inicialmente incentivadas por estados e municípios, parecem vir surtindo efeito já que a velocidade média de casos confirmados de COVID-19 foi de 197,04 casos dia^{-1} . Na Itália e no mundo essa velocidade média foi de 1913,50 e 2685,86 casos dia^{-1} , respectivamente.

Um estudo de revisão realizado por Liu et al. (2020) entre 1º de janeiro de 2020 a 7 de fevereiro de 2020 sobre a transmissibilidade média do vírus da COVID-19, verificou que as estimativas variaram de 1,4 a 6,49, com média de 3,28. Estes resultados indicam que as infecções geradas por uma pessoa infectada em uma população totalmente ingênua variam de 1,4 a 6,49 com média de 3,28. É importante lembrar ainda que, de acordo com Meng et al. (2020), o vírus da COVID-19 é transmitido através de gotículas, contato etc.

Com base nesses resultados é possível afirmar que se as medidas de distanciamento social no Brasil fossem encerradas no dia 31/03/2020 e velocidade média de casos confirmados permanecessem constantes (197,04 casos dia^{-1}) nos dias seguintes, a taxa de infecção aumentaria vertiginosamente de tal forma que se fosse possível testar a população brasileira a velocidade média de casos confirmados de COVID-19 poderia variar de 276 a 1279 casos dia^{-1} . Isso implicaria em 23/04/2020 num quantitativo de casos confirmados de 10.483 a 48.594, mas num cenário realista a velocidade média de casos confirmados por dia não permaneceria constante, o que aumentaria sobremaneira o intervalo anterior apresentado.

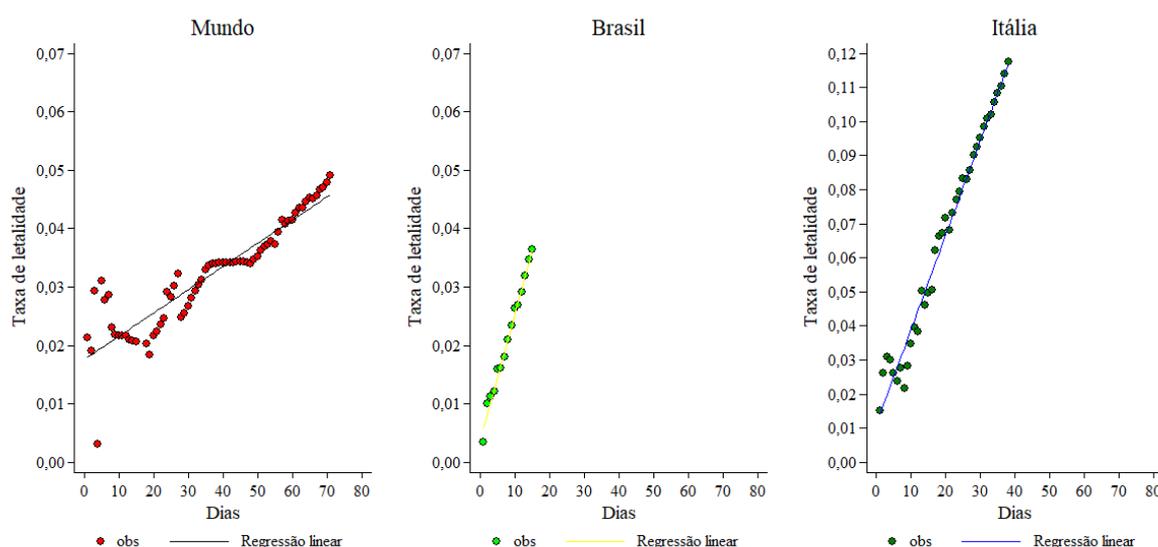
Na Tabela 5 encontram-se as estimativas dos parâmetros dos modelos lineares da taxa de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020. Nela é possível ver que no mundo, Brasil e na Itália, respectivamente, 83, 98,7 e 97,9% da variação na taxa de letalidade por COVID-19 pode ser explicado pela variação no tempo desde do início da primeira morte confirmada por COVID-19. É possível observar também, por cada estimativa do parâmetro b, que para cada dia transcorrido desde o primeiro dia com mortes confirmadas a letalidade aumenta 1,76; 0,36 e 1,15% no mundo, Brasil e Itália, respectivamente.

Tabela 5. Estimativas dos parâmetros dos modelos lineares simples aplicados a variável taxa de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020.

Local	Parâ.	Coef.	EP	t	P > t	IC _{95%}	R ²	R ² _{ajustado}	RMSE	
Mundo	a	0,0004	2,18E-05	18,27	0,000	0,0004	0,0004	0,833	0,830	0,004
	b	0,0176	9,13E-04	19,27	0,000	0,0158	0,0194			
Brasil	a	0,0022	6,67E-05	32,63	0,000	0,0020	0,0023	0,988	0,987	0,001
	b	0,0037	6,07E-04	6,12	0,000	0,0024	0,0050			
Itália	a	0,0028	6,67E-05	41,55	0,000	0,0026	0,0029	0,980	0,979	0,005
	b	0,0115	1,49E-03	7,69	0,000	0,0085	0,0145			

Na Figura 5 percebe-se o comportamento linear da taxa de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo. Verifica-se que no Brasil, a taxa de letalidade até o dia 31/03/2020 foi inferior a 4%, apesar de tendência de aumento linear.

Figura 5. Taxa de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020.



Quando se compara as taxas de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo no mesmo período de evolução da doença, ou seja, comparar os valores das taxas nos primeiros

15 dias transcorridos desde a primeira morte confirmada em cada um desse locais o que equivale considerar os períodos de 20/01/2020 a 04/02/2020 no mundo, de 23/02/2020 a 08/03/2020 na Itália e de 17/03/2020 a 31/03/2020 no Brasil. Verifica-se que essa taxa no Brasil foi de 3,64%, no mundo 2,06% e na Itália 4,96%.

De acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde, a taxa de mortalidade por COVID-19 em outros países que não a China foi de 0,25%, sendo, portanto, menor que as taxas de mortalidade por SARS (9,6%) e MERS (34%) (Yalan et al., 2020). A taxa de mortalidade por COVID-19 na província de Anhui foi de 0,64% (Mang et al., 2020).

Devido ao atual curso da doença em várias partes do mundo e tempo de início curto no Brasil, as atuais estimativas podem, possivelmente, ser tendenciosas. No entanto, à medida que mais dados são obtidos espera-se que os erros de estimativas diminuam e uma imagem mais clara do cenário da doença deva formar-se, inclusive com a utilização de outros modelos não lineares com desempenho melhores do que os apresentados.

4. Conclusão

Todos os modelos apresentados foram adequados para modelar os números de casos confirmados e de mortes por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 31/03/2020.

Os resultados obtidos não permitem ainda fazer projeções seguras de quando os números de casos confirmados e de mortes por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo diminuirão, mas evidenciam a crescente intensificação de seus números exponencialmente com decréscimo esperado em algum momento o longo do tempo.

No Brasil em comparação com a Itália e o mundo a velocidade média de novos casos confirmados de COVID-19 foi menor podendo ter como causa provável, entre outras coisas, o distanciamento social em prática.

Referências

Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In *Second International Symposium on Information Theory*, ed. B. N. Petrov and F. Csaki, 267–281. Budapest: Akailseoniai–Kiudo.

Jung, S-k., Akhmetzhanov, A. R., Hayashi, K., Linton, N. M., Yang, Y., Yuan, B., Kobayashi, T., Kinoshita, R. & Nishiura, H. (2020). Real-Time Estimation of the Risk of

Death from Novel Coronavirus (COVID-19) Infection: Inference Using Exported Cases. *J. Clin. Med.*, 9(2), 523. <https://doi.org/10.3390/jcm9020523>.

Li, Qun., Xuhua Guan., Peng Wu., Xiaoye Wang., Lei Zhou., Yeqing Tong., Ruiqi Ren., Kathy S.M. Leung., Eric H.Y. Lau., Jessica Y. Wong., Xuesen Xing., Nijuan Xiang., Yang Wu., Chao Li., Qi Chen., Dan Li., Tian Liu., Jing Zhao., Man Li., Wenxiao Tu., Chuding Chen., Lianmei Jin., Rui Yang., Qi Wang., Suhua Zhou., Rui Wang., Hui Liu., Yingbo Luo., Yuan Liu., Ge Shao., Huan Li., Zhongfa Tao., Yang Yang., Zhiqiang Deng., Boxi Liu., Zhitao Ma., Yanping Zhang., Guoqing Shi., Tommy T.Y. Lam., Joseph T.K. Wu., George F. Gao., Benjamin J. Cowling., Bo Yang., Gabriel M. Leung., & Zijian Feng. (2020). Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia. *The new england journal of medicine*, 382,1199-1207.
<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001316>.

Liu, Y., Gayle, A. A., Wilder-Smith, A. & Rocklöv, J. (2020). The reproductive number of COVID19 is higher compared to SARS coronavirus. *Journal of Travel Medicine*.
<https://doi:10.1093/jtm/taaa021>.

Medeiros, A. Y. B. V., Pereira, E. R., Silva, M. C. R. A. & Dias, F. A. (2020). Psychological phases and meaning of life in times of social isolation due the COVID-19 pandemic a reflection in the light of Viktor Frankl. *Research, Society and Development*.
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3131>.

Meng, L., Honglu, X., Min, Y., Zhirong, L., Xiaoyan, W., Yi, Z., Gong, M., Gan, L., Liu, H., Tausman, W., Qiao, Z., Yanan, D. & Tao, F. B. (2020). Analysis of the spatio-temporal variation of the epidemic and the epidemic situation of new coronaviruses in Anhui province. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 54, 1-7. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112150-20200221-00150>.

Möllenhoff, K., Bretz, F., & Dette, H. (2019). Equivalence of regression curves sharing common parameters. *Biometrics*. <https://doi:10.1111/biom.13149>.

Organização Pan-Americana da Saúde [OPAS] (2020). Folha informativa – COVID-19 (doença causada pelo novo coronavírus). Recuperado em 03 de abril de 2020 de:

https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=6101:covid19&Itemid=875.

Reinholz, M., & French, L. (2020). Medical education and care in dermatology during the SARS-CoV2 pandemia: challenges and chances. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. <https://doi:10.1111/jdv.16391>.

Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics* 6: 461–464.

Song, P., & Karako, T. (2020). COVID-19: Real-time dissemination of scientific information to fight a public health emergency of international concern. *BioScience Trends*. <https://doi:10.5582/bst.2020.01056>.

Zalina, M. D., Desa, M. N. M., Nguyen, V-T-V & Kassim, A. H. M. (2018). Selecting a probability distribution for extreme rainfall series in Malaysia. *Water Science and Technology*, 45, 63-68. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0028>.

Zhao, S., Lin, Q., Ran, J., Musa, S. S., Yang, G., Wang, W., Lou, Y., Gao, D., Yang, L., He, D. & Wang, M. H. (2020). Preliminary estimation of the basic reproduction number of novel coronavirus (2019-nCoV) in China, from 2019 to 2020: A data-driven analysis in the early phase of the outbreak. *International Journal of Infectious Diseases*. doi:10.1016/j.ijid.2020.01.050.

Yalan, L., Cong, L., Wenzheng, Z., & Ping, Y. (2020). Comparison of epidemiological characteristics, preventive measures and control of new coronavirus pneumonia with SARS and MERS [J / OL]. *Medicine*, 1 - 13. Recuperado em 03 de abril de 2020 de: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1293.R.20200215.1149.004.html>.

Winichakoon, P., Chaiwarith, R., Liwsrisakun, C., Salee, P., Goonna, A., Limsukon, A., & Kaewpoowat, Q. (2020). Negative Nasopharyngeal and Oropharyngeal Swab Does Not Rule Out COVID-19. *Journal of Clinical Microbiology*. <https://doi:10.1128/jcm.00297-20>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Edgo Jackson Pinto Santiago – 40%

Ana Karla da Silva Freire – 12%

Moacyr Cunha Filho – 12%

Guilherme Rocha Moreira – 12%

Denise Stéphanie de Almeida Ferreira – 12%

Ana Luíza Xavier Cunha – 12%