

Interiorização do Covid-19: Uma análise da evolução dos casos/10 mil habitantes em municípios da Microrregião de Garanhuns no Estado de Pernambuco, através de modelos de Regressão não linear

Interiorization of Covid-19: An analysis of the evolution of cases / 10 thousand inhabitants in municipalities in the Microregion of Garanhuns in the State of Pernambuco, using non-linear regression models

Interiorización de Covid-19: un análisis de la evolución de casos / 10 mil habitantes en municipios de la Microrregión de Garanhuns en el Estado de Pernambuco, utilizando modelos de regresión no lineal

Recebido: 10/07/2020 | Revisado: 12/08/2020 | Aceito: 13/08/2020 | Publicado: 18/08/2020

Lucas Silva do Amaral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1096-3241>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: lucasihua@gmail.com

André Luiz Pinto dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7703-2102>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: andrefensor@hotmail.com

Marcela Portela Santos de Figueiredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5042-1247>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: portela.marcela.producao@gmail.com

Denise Stéphanie de Almeida Ferreira

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

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: denise.s.almeidaf@gmail.com

José Eduardo Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8483-0305>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: profeduardosilva3@gmail.com

Henrique Correia Torres dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9544-7774>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: henrique.santos@recife.ifpe.edu.br

João Silva Rocha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3020-8094>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: joaosilvarocha@hotmail.com

Diego Alves Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2108-4672>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: diegoalvesestatistica@gmail.com

Guilherme Rocha Moreira

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

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: guirocham@gmail.com

Resumo

A interiorização dos casos confirmados de COVID-19 no estado de Pernambuco trouxe preocupação a população. Sendo assim analisou-se os dados oficiais disponibilizados pelos boletins diários das secretarias municipais de saúde dos municípios, no período de 23/04/2020 a 25/06/2020, coletados semanalmente e objetivou-se ajustar diferentes modelos não lineares na análise de casos / 10 mil habitantes de COVID - 19 nos municípios pernambucanos de Lajedo, Bom Conselho e Garanhuns, além de verificar o ponto de inflexão da doença, o período que informa sobre a diminuição da evolução dos casos. Para comparação entre os modelos empregaram-se o coeficiente de determinação ajustado, desvio médio absoluto e critério de informação de Akaike. A verificação dos pressupostos dos resíduos foi realizada por meio dos testes de Shapiro-Wilk para a normalidade, de Durbin-Watson para a independência e o de Breush-Pagan para a homocedasticidade, os pressupostos foram atendidos. Os melhores ajustes foram o Von Bertalanffy para os municípios de Garanhuns e Bom Conselho e o Gompertz para o município de Lajedo, apesar de superestimarem o número de casos no limite assintótico. No cálculo da taxa de crescimento absoluto (TCA) verificou-se que os pontos de inflexões de todos os modelos ocorreram dentro do período de 64 dias após o início da pandemia. Todavia, não é possível realizar previsões seguras de quando os números de casos confirmados minimizarão

por razão de estar-se em um estágio inicial da interiorização. No entanto, esses resultados podem ser importantes no controle da propagação, norteando as autoridades e a população aos cuidados de prevenção

Palavras-chave: Vírus; Previsão; Propagação; População.

Abstract

The internalization of confirmed cases of COVID-19 in the state of Pernambuco has raised concerns among the population. Thus, it was analyzed the official data provided by the daily bulletins of the municipal health secretariats of the municipalities, in the period from 23/04/2020 to 06/25/2020, collected weekly and the objective was to adjust different non-linear models in the analysis of cases / 10 thousand inhabitants of COVID-19 in the Pernambuco municipalities of Lajedo, Bom Conselho and Garanhuns, in addition to checking the inflection point of the disease, the period that informs about the decrease in the evolution of cases. For the comparison between the models, the adjusted determination coefficient, mean absolute deviation and Akaike information criterion were used. The verification of the assumptions of the residues was carried out through the Shapiro-Wilk tests for normality, Durbin-Watson tests for independence and Breush-Pagan tests for homoscedasticity, the assumptions were met. The best adjustments were Von Bertalanffy for the municipalities of Garanhuns and Bom Conselho and Gompertz for the municipality of Lajedo, despite overestimating the number of cases in the asymptotic limit. In calculating the absolute growth rate (ACT) it was found that the inflection points of all models occurred within the period of 64 days after the start of the pandemic. However, it is not possible to make reliable predictions of when the numbers of confirmed cases will be minimized due to being in an initial stage of interiorization. However, these results can be important in controlling the spread, guiding the authorities and the population to preventive care.

Keywords: Viruses; Forecast; Propagation; Population.

Resumen

La internalización de casos confirmados de COVID-19 en el estado de Pernambuco ha generado preocupación entre la población. Así, se analizaron los datos oficiales proporcionados por los boletines diarios de las secretarías municipales de salud de los municipios, en el período del 23/04/2020 al 25/06/2020, recogidos semanalmente y el objetivo fue ajustar diferentes modelos no lineales en el análisis de casos. / 10 mil habitantes del COVID-19 en los municipios de Pernambuco de Lajedo, Bom Conselho y Garanhuns, además de verificar el punto de inflexión

de la enfermedad, período que informa sobre la disminución en la evolución de los casos. Para la comparación entre los modelos se utilizó el coeficiente de determinación ajustado, la desviación media absoluta y el criterio de información de Akaike. La verificación de los supuestos de los residuos se realizó mediante las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, pruebas de independencia de Durbin-Watson y pruebas de homocedasticidad de Breush-Pagan, se cumplieron los supuestos. Los mejores ajustes fueron Von Bertalanffy para los municipios de Garanhuns y Bom Conselho y Gompertz para el municipio de Lajedo, a pesar de sobrestimar el número de casos en el límite asintótico. Al calcular la tasa de crecimiento absoluto (TCA), se encontró que los puntos de inflexión de todos los modelos ocurrieron dentro del período de 64 días después del inicio de la pandemia. Sin embargo, no es posible hacer predicciones confiables de cuándo se minimizará el número de casos confirmados debido a que se encuentra en una etapa inicial de interiorización. Sin embargo, estos resultados pueden ser importantes para controlar la propagación, orientando a las autoridades y la población hacia la atención preventiva.

Palabras clave: Virus; Pronóstico; Propagación; Población.

1. Introdução

No início de dezembro de 2019 vários casos de pneumonia de origem desconhecida surgiram em Wuhan, província de Hubei, na China (Dong et al., 2020). Tratava-se da infecção de indivíduos pelo coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave - SARS-CoV-2. (Wang et al., 2020), também chamado de COVID-19 pela World Health Organization –WHO (World Health Organization, 2020a). Uma característica alarmante deste novo vírus é a velocidade com que ele se espalha, reunião de 30 de janeiro de 2020, de acordo com o Regulamento Sanitário Internacional (RSI, 2005), o surto foi declarado pela WHO como Emergência em Saúde Pública de Interesse Internacional (PHEIC) (Baker et al., 2020). No dia 11 de março de 2020 a WHO declarou estado de pandemia, que significou que a infecção do COVID-19 estava amplamente disseminada por todo o mundo (World Health Organization, 2020b).

No Brasil, o primeiro caso confirmado de Covid-19, foi anunciado no dia 25 de fevereiro de 2020, pelo Ministério da Saúde. Tratava-se de brasileiro, sexo masculino de 61 anos, que havia retornado de viagem da Itália, país amplamente acometido pela doença (Rodríguez-Morales et al., 2020). A partir desse momento, os casos e óbitos difundiram-se no país, em todas as unidades federativas, entre elas o estado de Pernambuco, que até o início de julho de

2020, apresentava 61119 casos e 4968 óbitos, sendo o 8º estado com maior número em ambas as situações (MS, 2020).

Os casos iniciais foram sendo identificados nas capitais brasileiras, aos poucos, outros casos foram sendo detectados em regiões mais longínquas, ou seja, ocasionando a interiorização da doença em detrimento da transmissão comunitária, que é a transmissão entre os habitantes de uma mesma localidade (Albuquerque & Pedrosa, 2020).

Em Pernambuco, este processo também está ocorrendo visto que a capital, Recife concentrava 71% dos casos da doença no início do mês de abril, passando a responder por apenas 34% em junho, no último período observado na pesquisa. O inverso aconteceu com os demais municípios, que partiram de 29% em abril e passaram a responder por 66% de todos os novos registros da doença no estado em junho (Fiocruz- Pernambuco, 2020).

Estudos que abordam a evolução epidemiológica do Covid-19 em Pernambuco são escassos na literatura, uma pesquisa poderia evitar o agravamento da situação em municípios do interior, tais como os municípios da microrregião de Garanhuns, dentre eles os principais polos comerciais da região, Bom Conselho, Garanhuns e Lajedo que caracterizam-se pela superioridade da taxa de população urbana em relação a população rural comparado com os demais municípios da microrregião (Condepe\Fidem, 2010; Ferreira, 2013).

Para analisar a evolução de casos para essa microrregião pode-se utilizar alguns modelos matemáticos não lineares e lineares, presentes na literatura, possibilitam descrição de dados epidemiológicos. Ghosal et al. (2020) realizou a predição de número de mortos devido à Covid-19 utilizando regressão linear em dados da Índia. Prata et al. (2020), utilizou regressão polinomial linear para modelar os dados de 27 capitais brasileiras provenientes do Ministério da Saúde – MS, e prever casos confirmados de COVID-19 no Brasil, além de analisarem a relação entre temperatura e os casos.

Santiago et al. (2020) buscou ajustar diversos modelos de regressão não linear com dados de mortalidade e casos confirmados no Brasil, Itália e no mundo, e Santos et al. (2020) objetivaram-se no ajuste de dados de óbito por COVID-19 nos estados do Ceará e Pernambuco, além do ajuste dos dados extrapolados para verificar o pico da doença. As funções sigmóides: Hill, Logístico, Gompertz e Richards são mais adequadas para a previsão de epidemias, enquanto as funções lineares, quadráticas, cúbicas e exponenciais não podem captar adequadamente a curva típica em forma de S (Yang et al., 2020; Santos et al., 2020).

Objetivou-se a realização do ajuste dos modelos sigmóides a dados de casos de COVID-19 nos seguintes municípios do agreste meridional pernambucano: Bom Conselho,

Garanhuns e Lajedo, a fim de definir o melhor modelo ajustado e o ponto em que a doença atinge o decréscimo da evolução de número de casos.

2. Metodologia

Coleta dos dados

Os dados foram coletados dos boletins diários disponibilizados pelas secretarias de saúde dos municípios de Bom Conselho, Garanhuns e Lajedo, no período de 23 de abril 2020 até 25 de junho de 2020, no intervalo de sete em sete dias, os casos foram convertidos em casos/10 mil habitantes, para proporcionar que os dados fiquem na mesma escala, e possibilitem o comparativo entre as curvas, essa conversão foi baseada na população estimada desses municípios para 2019, retirados do site do Índice Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Modelos ajustados

Os modelos ajustados à variável número de casos / 10 mil habitantes por COVID-19 nos municípios pernambucanos de Garanhuns, Bom Conselho e Lajedo, são não-lineares sigmoidais (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos não lineares sigmoidais e suas equações.

Modelos	Equações
Gompertz	$Y = \alpha e^{-\beta e^{kt}} + \varepsilon$
Logístico	$Y = \frac{\alpha}{(1 - \beta e^{-kt})} + \varepsilon$
Von Bertalanffy	$Y = \alpha(1 - \beta e^{-kt})^3 + \varepsilon$

Fonte: Amaral et al., (2020).

Na Tabela 1 estão presentes os modelos que na pesquisa foram ajustados, o modelo de Gompertz (Laird,1963), Logístico (Nelder,1961) e de Von Bertalanffy (Von Bertalanffy,1957).

Estimação dos parâmetros

Os parâmetros dos modelos foram estimados a partir do método dos mínimos quadrados, usando o processo iterativo de Gauss Newton por meio da função *Nonlinear Least Squares* (NLS) do pacote *Stats*, da ferramenta computacional R.

Crítérios de ajuste

Para os critérios de ajuste, primeiramente verificou-se a estimação dos parâmetros e foram selecionados aqueles que apresentaram valor significativo (p -valor $<0,05$), para todos os parâmetros, pois garante que os modelos ajustados podem ser utilizados para realizar estimativas (Santiago, 2020).

Posteriormente os critérios de ajustes para analisar a qualidade do ajuste dos modelos aos dados, foram o critério de informação de Akaike (*AIC*), coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e o desvio médio absoluto (*DMA*) (Tabela 2).

Tabela 2. Critérios de ajustes utilizados.

Critérios	Equações
<i>AIC</i>	$2l(\hat{\theta}) + 2p$
$R^2_{aj.}$	$R^2 - \frac{p-1}{n-p}(1-R^2)$
<i>DMA</i>	$\sum_{i=1}^n \frac{ y_i - \hat{y}_i ^2}{n}$

Fonte: Amaral et al., (2020).

Na Tabela 2, temos que $l(\hat{\theta})$ é a log-verossimilhança maximizada de θ , \hat{y}_i é o número de casos esperados em um tempo t , y_i é número de casos observados no mesmo tempo t , n é o tamanho amostral e o p é o número de parâmetros.

Segundo Santos *et al* (2019), o melhor modelo ajustado será aquele que obtiver o maior valor para o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e os menores valores para o critério de informação de Akaike (*AIC*) e para o desvio médio absoluto(*DMA*). Sendo uma recomendação amplamente aceita, que também foi utilizada neste trabalho em que se considerou o modelo mais adequado os que apresentaram menor estimativa de (*AIC* e *DMA*) e maiores valor de ($R^2_{aj.}$) próximo a 1.

3. Resultados e Discussão

Uma análise importante e que não pode ser omitida na pesquisa, é a análise dos pressupostos residuais, a normalidade, a independência e a homocedasticidade, pois uma vez que não forem atendidas, considera-se que o modelo não é adequado e este desvio deve ser considerado ou revisto no modelo (Santos et al., 2019).

Tabela 3. Pressupostos residuais do ajuste dos modelos.

Municípios	Modelos	Shapiro -Wilk	p-valor	Durbin- Watson	p-valor	Breush- Pagan	p-valor
Lajedo	Logístico	0,932	0,469	2,799	0,915	2,214	0,137
	Gompertz	0,933	0,473	3,116	0,978	4,381	0,052
	Von Bertallanfy	0,969	0,879	2,883	0,937	4,981	0,051
Bom Conselho	Gompertz	0,923	0,379	1,518	0,210	0,598	0,440
	Von Bertallanfy	0,926	0,408	1,617	0,262	0,071	0,790
Garanhuns	Logístico	0,921	0,361	1,871	0,415	2,258	0,133
	Gompertz	0,945	0,614	3,037	0,967	2,781	0,095
	Von						
	Bertallanfy	0,973	0,913	2,822	0,922	3,726	0,054

Fonte: Amaral et al., (2020).

Na Tabela 3 estão presentes a análise de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, a análise de independência através do teste de Durbin Watson e de Homocedasticidade com o artifício do teste de Breush-Pagan. Nos dados presentes na tabela, percebe-se que eles não violaram os pressupostos ($p\text{-valor} > 0,05$).

Analisando as estimativas do parâmetro α que representa o número médio de casos/10 mil habitantes de COVID-19 quando a pandemia atingir o ápice livre das variações sazonais, para o município de Bom Conselho, o modelo Von Bertalanffy, estimou 45,42 casos/10 mil habitantes, seguido pelos modelos de Gompertz (40,56 casos/10 mil habitantes) e logístico com (34,86 casos/10 mil habitantes). Para Garanhuns, o maior valor previsto foi o modelo de Von Bertalanffy (56,10 casos/10 mil habitantes), seguido dos modelos Gompertz, (40,56 casos/10 mil habitantes) e o Logístico com (34,87 casos/10 mil habitantes). Para o município de Lajedo, o maior foi o modelo de Von Bertalanffy (97,08/10 mil habitantes), seguido pelo modelo de Gompertz (51,95 casos/10 mil habitantes) e o Logístico (33,10/10 mil habitantes).

Percebe-se que o modelo de Von Bertalanffy superestimou o valor do parâmetro, em que estimou-se um número exacerbado de casos / 10 mil habitantes, tal comportamento foi apontado por Santos et al. (2020) ao modelar o número de óbitos por COVID-19, nesse estudo percebe-se que também os modelos Logístico e Gompertz superestimaram o parâmetro, visto que o valor do parâmetro para os modelos em todos os municípios analisados foram maiores do que a última observação obtida no dia vinte e cinco de junho de 2020.

Outro parâmetro importante para interpretação da evolução de número de casos é o parâmetro k , que nos dá a taxa de declínio dos números de casos. Para o município de Bom Conselho, a menor taxa corresponde ao modelo de Von Bertalanffy (0,04), e posteriormente o modelo de Gompertz (0,06). Para a modelagem de Garanhuns estimaram-se os seguintes valores para k , Von Bertalanffy (0,02), Gompertz (0,03) e Logístico (0,08). Para Lajedo, a menor taxa corresponde ao modelo de Von Bertalanffy (0,02), seguido pelo modelo de Gompertz (0,04) e o modelo Logístico (0,10). Segundo Santos et al. (2020) os modelos com menor taxa de declínio, está associado ao maior número de mortes, nesta pesquisa correspondem ao maior número de casos/10 mil habitantes, o que corroboram com nossos achados.

Tabela 4. Estimação dos parâmetros dos modelos no ajuste de casos / 10 mil habitantes dos Municípios de Bom Conselho, Garanhuns e Lajedo.

Município	Modelos	Parâmetros		
		α	β	k
Bom Conselho	Gompertz	40,56*	5,36*	0,05*
	Logístico	34,87*	31,30	0,09*
	Von Bertalanffy	45,42*	1,03*	0,04*
Garanhuns	Gompertz	42,82*	4,59*	0,03*
	Logístico	32,36*	28,19*	0,08*
	Von Bertalanffy	56,10*	0,87*	0,02*
Lajedo	Gompertz	51,95*	8,63*	0,04*
	Logístico	33,60*	152,70*	0,10*
	Von Bertalanffy	97,08*	1,14*	0,02*

*Significativo a 95%.

Fonte: Amaral et al., 2020.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros estimados, assim como a significância da estimação. para o Município de Bom Conselho, apresentaram estimação significativa os modelos Gompertz e de Von Bertalanffy, para o Município de Garanhuns, os modelos de Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy, e para o município de Lajedo, todos os modelos supracitados.

Ao verificar o ajuste dos modelos (Tabela 5) em cada município, percebe-se que o melhor modelo ajustado para o município de Bom Conselho, foi o Modelo de Von Bertalanffy e posteriormente o Modelo de Gompertz. Para o município de Garanhuns, o modelo com melhor ajuste foi o Modelo de Von Bertalanffy, seguido pelos modelos de Gompertz e Logístico, para

o município de Lajedo, o melhor ajuste se deu para o modelo de Gompertz, seguido pelos modelos logístico e Von Bertalanffy. No entanto, devido a dinamicidade da doença e os dados coletados serem correspondentes ao início da interiorização da propagação do COVID-19, nenhum modelo pode ser determinado como superior a outro quando estimados a partir de um intervalo de dados restrito (Santos et al., 2020).

Tabela 5. Critérios de Ajuste dos modelos para os municípios.

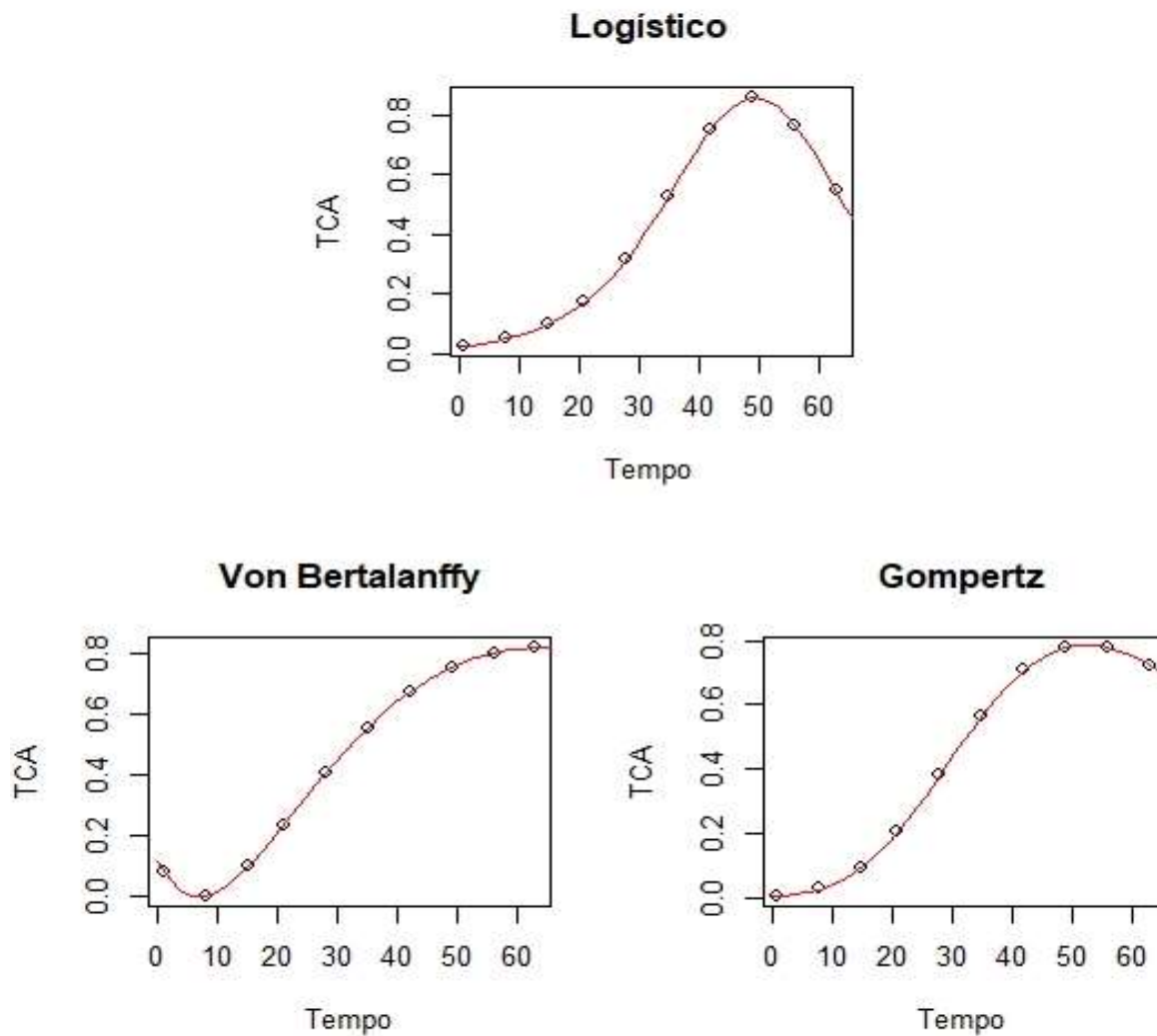
Municípios	Modelos	Critérios		
		R_{aj}^2	<i>AIC</i>	<i>DMA</i>
Bom Conselho	Gompertz	0,9940	43,66	1,24
	Von Bertalanffy	0,9951	41,69	1,15
Garanhuns	Gompertz	0,9990	25,63	0,46
	Logístico	0,9981	32,21	0,74
	Von Bertalanffy	0,9991	24,52	0,45
Lajedo	Gompertz	0,9991	24,42	0,42
	Logístico	0,9991	24,45	0,43
	Von Bertalanffy	0,9989	26,46	0,47

Fonte: Amaral et al., (2020).

A Tabela 5 apresenta as informações acerca dos critérios de ajuste, coeficiente de determinação ajustado (R_{ajust}^2), Critério de Informação de Akaike (*AIC*) e desvio médio absoluto (*DMA*) utilizados na avaliação de qualidade do ajuste dos modelos.

Em seguida extraiu-se a taxa de crescimento absoluto (TCA), que é a primeira derivada da função ajustada em relação ao tempo, presentes nas Figuras 1, 2 e 3.

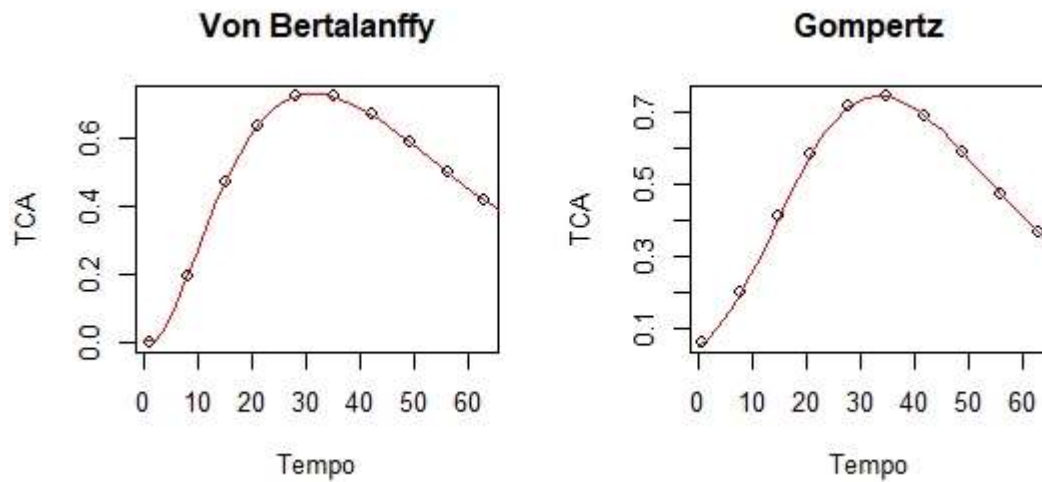
Figura 1. Taxa de crescimento absoluto do número de casos do município de Lajedo no estado de Pernambuco devido a COVID-19.



Fonte: Amaral et al., (2020).

Na Figura 1, observa-se que a evolução da taxa dos modelos Logístico e Gompertz apontam decréscimo no quadragésimo nono dia da pandemia, e o modelo Von Bertalanffy, ainda está em pleno crescimento durante todos os dias observados para o município de Lajedo no estado de Pernambuco.

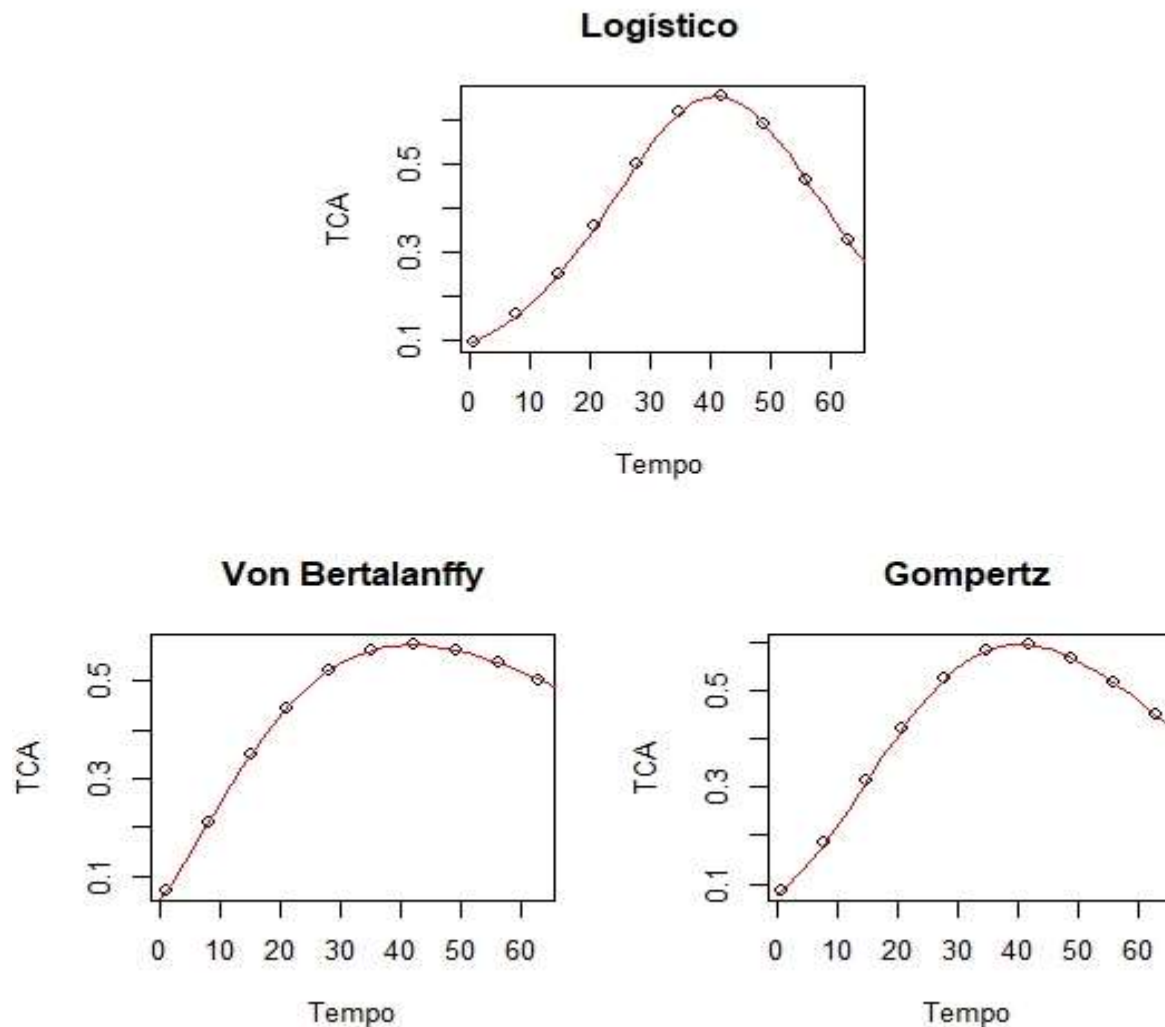
Figura 2. Taxa de crescimento absoluto do número de casos do município de Bom Conselho no estado de Pernambuco devido a COVID-19.



Fonte: Amaral et al., (2020).

A figura 2 mostra que o modelo de Gompertz indica um decréscimo a partir do trigésimo quinto dia e o modelo Von Bertalanffy no vigésimo oitavo dia para o município de Bom Conselho.

Figura 3. Taxa de crescimento absoluto do número de casos do município de Garanhuns no estado de Pernambuco devido a COVID-19.



Fonte: Amaral et al., (2020).

A figura 3 apresenta a curva da taxa de crescimento absoluto para o município de Garanhuns, a evolução da taxa dos modelos Logístico, Von Bertalanffy e Gompertz apresentam sinais de decrescimento a partir do quadragésimo segundo dia da pandemia.

Após o cálculo do TCA é possível verificar qual dia corresponde ao ponto de inflexão das curvas, ou seja, o ponto máximo do crescimento do número de casos, derivando a função ajustada em relação ao tempo e igualando a zero (Tabela 6). No intervalo analisado o município de Lajedo não atingiu o pico da doença, segundo o modelo Von Bertalanffy, então se fez necessário a extrapolação do número de casos/10 mil habitantes para 10 dias após o dia 25/06. Desta forma foi possível verificar que a partir do 64º dia após o início da pandemia no município (26/06), o município de Lajedo apresentou o pico da doença, vide Tabela 6. Nos outros

municípios, o ponto de inflexão ocorreu no intervalo de dados coletados (23/04/2020 a 25/06/2020), portanto não houve necessidade de fazer extrapolação.

Tabela 6. Ponto de inflexão para os municípios de Lajedo, Bom Conselho e Garanhuns.

Município	Modelo	Ponto de Inflexão
Bom Conselho	Gompertz	28\05\2020
	Von Bertalanffy	21\05\2020
Garanhuns	Gompertz	04\06\2020
	Logístico	04\06\2020
	Von Bertalanffy	04\06\2020
Lajedo	Gompertz	11\06\2020
	Logístico	11\06\2020
	Von Bertalanffy	26\06\2020

Fonte: Amaral et al., (2020).

Na Tabela 6, apresentam-se as datas que apontam o ponto inflexão, que é o período previsto de decaimento do número de casos do COVID-19, para todos os modelos ajustados nos municípios de Bom Conselho, Garanhuns e Lajedo.

4. Considerações Finais

Para o município de Bom Conselho, todos os modelos estudados foram bem ajustados, entretanto, o valor do parâmetro β do modelo Logístico não foi significativo o que pode

prejudicar a previsão dos casos. Já o modelo de Von Bertalanffy, apresentou o melhor ajuste através dos critérios adotados. Ainda assim tanto ele, como o Gompertz superestimaram o parâmetro α que estima o número de casos / 10 mil habitantes.

Os modelos apontaram o decréscimo na evolução do número de casos entre e vigésimo oitavo (vinte e um de maio de dois mil e vinte) e o trigésimo quinto dia de pandemia (vinte e oito de maio de dois mil e vinte). No município de Garanhuns, os três modelos ajustaram-se bem aos dados, apesar de ambos superestimarem o parâmetro α . Entre os modelos analisados o que apresentou o melhor ajuste segundo os critérios de ajuste, foi o modelo de Von Bertalanffy, todos os modelos apresentaram um ponto de inflexão dentro do período da coleta de dados, apresentando o decréscimo a partir do 42º dia de pandemia. Por fim para o município de Lajedo, o modelo de Gompertz apresentou o melhor ajuste segundo os critérios de ajuste.

Em relação ao ponto de inflexão, os modelos de Gompertz e Logístico apontaram o decréscimo na evolução dos casos a partir do 48º dia de pandemia (onze de junho de dois mil e vinte). Entretanto, o modelo de Von Bertalanffy não previu o decréscimo na evolução dos casos no período analisado, foi necessário realizar uma estimativa para dias além do período de tempo verificado, foi observado que os casos tiveram uma queda a partir do 64º dia de pandemia (vinte e seis de junho de dois mil e vinte).

Não obstante, os resultados obtidos ainda não permitem afirmar com segurança que as projeções de números de casos diminuirão nos municípios de Lajedo, Bom Conselho e Garanhuns, sendo necessário que a população esteja em alerta e atender as recomendações dos órgãos competentes, mantendo o fortalecimento do distanciamento e isolamento social, e ao sair de suas respectivas moradias, enaltecer o uso de máscaras e realçar a importância de uma adequada higiene pessoal para evitar ao máximo a propagação do vírus, e dessa forma evitar uma segunda onda de contágio.

Sendo assim essas estimativas podem contribuir para que autoridades tenham um norte na tomada de decisão sobre a implementação de estratégias de isolamento social para gerenciar a pandemia do COVID-19, principalmente em municípios que não tem um grande aporte de leitos hospitalares e médicos e que não estão preparados para uma forte evolução no número de casos como os aqui supracitados.

Uma proposta para estudos futuros pode ser a modelagem para outras regiões do estado de Pernambuco, a modelagem para o interior de outros estados, para melhor compreender o processo de interiorização da doença.

Agradecimentos

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao PPGBEA (Programa de Pós Graduação em Biometria e Estatística Aplicada (PPGBEA)). Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Referências

Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – CONDEPE/FIDEM. (2010). Composição setorial do Valor Adicionado Bruto (VAB). Recife: CONDEPE/FIDEM.

Albuquerque, N. L. S. D., & Pedrosa, N. L. (2020). Análise espacial dos casos de COVID-19 e leitos de terapia intensiva no estado do Ceará, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25, 2461-2468.

Baker, S. R., Bloom, N., Davis, S. J., & Terry, S. J. (2020). Covid-induced economic uncertainty. *National Bureau of Economic Research*. 26983, 1-17. doi: 10.3386/w26983

Dong, Y., Mo, X., Hu, Y., Qi, X., Jiang, F., Jiang, Z., & Tong, S. (2020). Epidemiology of COVID-19 among children in China. *Pediatrics*, 145(6). 1-12. doi: <https://doi.org/10.1542/peds.2020-0702>

Ferreira, M. R. S. (2013). A construção discursiva da sustentabilidade urbana na Microrregião de Garanhuns-PE. *Universidade Federal de Sergipe (UFS)*. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/4274>

Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) (2020). Estudo aponta interiorização da Covid-19 em Pernambuco. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/estudo-aponta-interiorizacao-da-covid-19-em-pernambuco>

Ghosal, S., Sengupta, S., Majumder, M., & Sinha, B. (2020). Linear Regression Analysis to predict the number of deaths in India due to SARS-CoV-2 at 6 weeks from day 0 (100 cases - March 14th 2020). *Diabetes & metabolic syndrome. Advance online publication*, 14(4), 311–315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.03.017>

Laird, A. K. (1965). Dynamics of relative growth. *Growth*, *Ministério da Saúde [MS] (2020). Painel Coronavírus*, 29(9), 249-263. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>

Nelder, J. A. (1961). The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17(1), 89-110. doi: <https://www.jstor.org/stable/2527498>

Prata, D. N., Rodrigues, W., & Bermejo, P. H. (2020). Temperature significantly changes COVID-19 transmission in (sub) tropical cities of Brazil. *Science of the Total Environment*, 729, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138862>

Rodriguez-Morales, A. J., Gallego, V., Escalera-Antezana, J. P., Méndez, C. A., Zambrano, L. I., Franco-Paredes, C., ... & Risquez, A. (2020). COVID-19 in Latin America: The implications of the first confirmed case in Brazil. *Travel medicine and infectious disease*, 35, 1-4. doi: [10.1016/j.tmaid.2020.101613](https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101613)

Santiago, E. J. P., da Silva Freire, A. K., Cunha Filho, M., Moreira, G. R., de Almeida Ferreira, D. S., & Cunha, A. L. X. (2020). Non-linear models applicable to mortality and cases of COVID-19 in Brazil, Italy and the world. *Research, Society and Development*, 9(6), 117963561. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3561>.

Santos, A.L.P., Moreira, G. R., Gomes-Silva, F., Brito, C., da Costa, M., Pereira, L., Maurício, R. M., Azevêdo, J., Pereira, J. M., Ferreira, A. L., & Filho, M. C. (2019). Generation of models from existing models composition: An application to agrarian sciences. *PloS one*, 14(12), e0214778. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214778>

Santos, A.L.P., Figueiredo, M., Ferreira, T., Gomes-Silva, F., Moreira, G., Silva, J., & Freitas, J. (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), e602974551. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4551>.

Von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *The quarterly review of biology*, 32(3), 217-231. doi: <https://doi.org/10.1086/401873>

Wang, L., & Wong, A. (2020). COVID-Net: A Tailored Deep Convolutional Neural Network Design for Detection of COVID-19 Cases from Chest X-Ray Images. *University of Waterloo, Canada*, (4). *arXiv preprint arXiv:2003.09871*.

World Health Organization, WHO Director-General's Remarks at the Media Briefing on 2019-nCoV on 11 February 2020, (2020a). Disponível em: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/whodirector-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020>.

World Health Organization, WHO Director-General's Remarks at the Media Briefing on 2019-nCoV on 11 March 2020, (2020b). Disponível em: <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. (1). *arXiv preprint arXiv:2003.05666*

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Lucas Silva do Amaral – 12%

André Luiz Pinto dos Santos – 12%

Marcela Portela Santos de Figueiredo – 11%

Denise Stéphanie de Almeida Ferreira - 11%

José Eduardo Silva - 11%

Henrique Correia Torres dos Santos - 11%

João Silva Rocha – 11%

Diego Alves Gomes – 11%

Guilherme Rocha Moreira – 10%