

Modelagem matemática do número de casos de COVID-19 na cidade de Santa Rosa – RS

Mathematical modeling of the number of COVID-19 cases in the city of Santa Rosa- RS

DOI:10.34117/bjdv8n4-590

Recebimento dos originais: 21/02/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

Gilberto Carlos Thomas

Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFAR)
Endereço: Campus Santa Rosa, Santa Rosa, RS, Brasil
E-mail: gilberto.thomas@iffarroupilha.edu.br

Eduardo Padoin

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFAR)
Endereço: Campus Santa Rosa, Santa Rosa, RS, Brasil
E-mail: eduardo.padoin@iffarroupilha.edu.br

Daniela Copetti Santos

Doutora em Ciências Biológicas (Bioquímica) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFAR)
Endereço: Campus Santa Rosa, Santa Rosa, RS, Brasil
E-mail: daniela.copetti@iffarroupilha.edu.br

Fernando Feiten Pinto

Licenciado em Matemática – IFFAR
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFAR)
Endereço: Campus Santa Rosa, Santa Rosa, RS, Brasil
E-mail: fernando.2018005403@aluno.iffar.edu.br

Jessica Eduarda Kuhn

Licencianda em Matemática – IFFAR
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFAR)
Endereço: Campus Santa Rosa, Santa Rosa, RS, Brasil
E-mail: jessica.2020002187@aluno.iffar.edu.br

Pablo Henrique Tolfo

Licenciando em Matemática - IFFAR
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFAR)
Endereço: Campus Santa Rosa, Santa Rosa, RS, Brasil
E-mail: pablo.2019002460@aluno.iffar.edu.br

RESUMO

Nesta pesquisa, apresenta-se o estudo do comportamento do crescimento e decréscimo do número de casos de COVID-19, no qual foi desenvolvido modelos matemáticos com o uso do Método de Malthus e ajuste de curva polinomial, destinado à análise do comportamento da disseminação do vírus do COVID-19 no município de Santa Rosa/RS. Os dados foram fornecidos pela Fundação Municipal de Saúde de Santa Rosa, com análise dos números de contaminados e de óbitos, considerando a variação do número de casos semanalmente. Os parâmetros aplicados permitiram a aplicação da modelagem matemática, onde se aplicou o ajuste de curva polinomial e modelo através da Teoria Malthusiana, onde o ajuste polinomial se mostrou melhor, com um erro baixo apresentado na função polinomial, comprovado com a correlação de Pearson. Neste apresenta-se alguns destes resultados e análise dos mesmos. Através dos resultados alcançados, podemos analisar o comportamento da disseminação do COVID-19, sendo assim, pode se concluir que estes modelos podem ser utilizados em projeções de cenários futuros e ações que possam ser tomadas para evitar a incidência deste vírus na cidade de Santa Rosa.

Palavras-chave: modelagem matemática, ajuste polinomial, covid.

ABSTRACT

In this research, the study of the behavior of the growth and decrease of the number of COVID-19 cases is presented, in which mathematical models were developed using the Malthus Method and polynomial curve adjustment, aimed at analyzing the behavior of the dissemination of the COVID-19 virus in the city of Santa Rosa/RS. Data were provided by the Fundação Municipal de Saúde of Santa Rosa, with analysis of the numbers of infected people and deaths, considering the variation in the number of cases per week. The parameters applied allowed the application of mathematical modeling, where the polynomial curve fit was applied and the model through Malthusian Theory, the polynomial fit was better, with a low error presented in the polynomial function, proven with Pearson's correlation. Here we present some of these results and their analysis. Through the results achieved, we can analyze the behavior of the spread of COVID-19, so it can be concluded that these models can be used in projections of future scenarios and actions that can be taken to avoid the incidence of this virus in the city of Santa Rosa.

Keywords: mathematical modeling, polynomial fitting, covid.

1 INTRODUÇÃO

O atual cenário de pandemia demonstrou uma situação crítica na área da saúde pública, visto os altos índices de crescimento do número de casos e da rápida disseminação do COVID-19 pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2). Essa realidade vem se agravando especialmente no Brasil, o qual já atingiu mais de 21 milhões de casos e 610 mil desses casos já resultaram em mortes, segundo dados publicados pelo portal de notícias G1 (2021).

O coronavírus é uma família de vírus que podem causar infecções nas pessoas. Normalmente estas infecções afetam o sistema respiratório, podendo ser semelhantes à gripe ou evoluir para uma doença mais grave, como pneumonia (MACEDO JÚNIOR, 2020).

Os índices de contaminação vêm crescendo ao longo dos dias, atingindo novos recordes de mortes em consequência dos inúmeros casos de infecção. Dessa forma, são válidos estudos que consigam determinar padrões desses números, de crescimento ou decréscimo dessa incidência de casos, pois tal façanha proporciona vantagens na tomada de decisões e desenvolvimento de ações futuras, com o propósito de gerar intervenções mais adequadas e oportunas frente às necessidades da população na área da saúde.

Dessa forma, este projeto tem como objetivo geral de aplicar a Modelagem Matemática para o estudo e análise do comportamento do número de casos de COVID-19 na cidade de Santa Rosa da Região Noroeste do Rio Grande do Sul, observando as tendências que descrevam crescimento ou decréscimo dessa incidência. Para que assim, analisar qual modelo matemático melhor se adequa aos dados coletados.

Além disso, segundo Bassanezi (2004) a modelagem consiste na arte de transformar situações da realidade em problemas matemáticos, cujas soluções devem ser interpretadas com a finalidade de generalização e previsão de tendências. Logo, através desse processo de investigação busca-se verificar a incidência e tratar de formular possíveis previsões, propiciando uma contribuição matemática na sociedade num contexto aplicado.

2 METODOLOGIA

Este trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada, desenvolvida com fundamentação bibliográfica e documental das informações e dados disponibilizados pela Fundação Municipal de Saúde de Santa Rosa (FUMSSAR). Esse órgão oficial do Ministério da Saúde tem o objetivo de prestar cuidado qualificado em saúde no município de Santa Rosa por meio da política municipal de saúde, com a sistematização das ações a serem executadas, sendo embasado nos princípios do Sistema Único de Saúde.

Conforme os dados fornecidos pela FUMSSAR em relação ao número de casos confirmados e óbitos ocasionados pela Covid-19 na cidade de Santa Rosa, o primeiro infectado é apresentado na terceira semana do mês de junho de 2020. Assim, os dados

foram fornecidos pela Fundação no período da 25ª semana de 2020 (junho) à 45ª semana de 2021 (novembro), contabilizados semanalmente.

O projeto considera modelos empíricos baseados no ajuste de curva polinomial (BARROSO, et al.,1987) e na função exponencial (Teoria Malthusiana). Dentre as modelagens utilizadas há o Modelo de Malthus que de forma sucinta apresenta a ideia de quanto mais pessoas estiverem infectadas pelo vírus SARS-CoV-2, a enfermidade será espalhada mais rapidamente pela população.

A organização das informações quantitativas sobre o número de casos confirmados e de óbitos, ocorreu por tabulação no *Software* Excel. Vale destacar que, os dados foram separados em dois momentos: antes da vacinação (até a última semana de abril de 2021) e após a vacinação (a partir da primeira semana de maio de 2021). A necessidade dessa separação deu-se pelo fato do impacto direto e expressivo da vacina na diminuição tanto nos números de casos como também em óbitos, para isso escolheu-se um ponto em que 19,16% da população já haviam recebido a primeira dose e 8,25% a segunda dose, ou seja, estava começando a ter números significativos de pessoas imunizadas.

3 MODELO DO PROBLEMA

Após a tabulação dos dados coletados da FUMSSAR, iniciou-se a investigação e aplicação de modelos que poderiam se ajustar com essas informações. Inicialmente, utilizou-se do Modelo de Malthus e na sequência do ajuste de curva polinomial.

Com intuito de descrever a dinâmica populacional em linguagem matemática, Thomas Robert Malthus, em 1798, partiu do pressuposto de que a variação populacional (dP) em relação ao tempo (dt) é proporcional ao seu tamanho em cada instante (k). Desta forma, assumiu-se que existia um coeficiente k , de crescimento $k>0$ ou decréscimo $k<0$ (EISERMANN; THOMAS, 2020).

$$\frac{dP}{dt} = k P \quad (1)$$

Resolvendo analiticamente (1) e designando c uma constante, obtem-se:

$$\int \frac{dP}{P} = \int k dt \quad (2)$$

$$\ln P = k t + c \quad (3)$$

O processo exponencial em (3), garante que:

$$P = e^{kt+c} \quad (4)$$

$$P = e^{kt} e^c \quad (5)$$

Sendo e^c uma constante de valor desconhecido, ela será denominada de c_1 , levando encontrar a seguinte relação:

$$P(t) = c_1 e^{kt} \quad (6)$$

Denominando P_0 a população no instante inicial ($t = 0$), tem-se que $P_0=c_1$, e, assim, a solução analítica do Modelo de Malthus torna-se:

$$P(t) = P_0 e^{kt} \quad (7)$$

Em seguida, desenvolveu-se o ajuste de curva polinomial, o qual é um dos métodos utilizados no processo para determinar uma função que melhor descreve um determinado conjunto de pontos. No presente trabalho, usou-se ajuste de curva polinomial para uma função de terceiro grau (BARROSO, et al., 1987) que pode ser definido como $f(x)= a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$, em que os parâmetros são obtidos solucionando o sistema de ordem quatro:

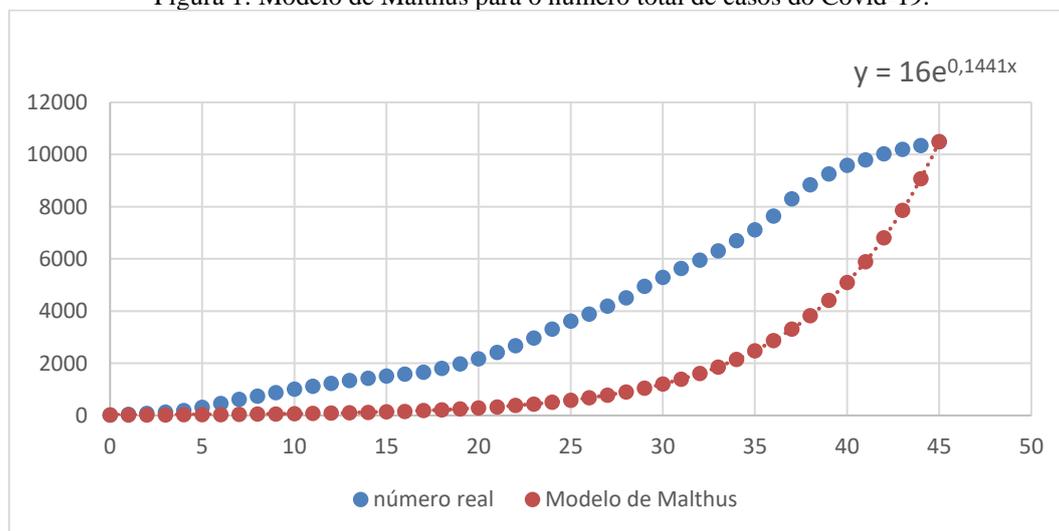
$$\left\{ \begin{array}{l} (n+1)a_0 + a_1 \sum_{i=0}^n x_i + a_2 \sum_{i=0}^n x_i^2 + a_3 \sum_{i=0}^n x_i^3 = \sum_{i=0}^n y_i \\ a_0 \sum_{i=0}^n x_i + a_1 \sum_{i=0}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=0}^n x_i^3 + a_3 \sum_{i=0}^n x_i^4 = \sum_{i=0}^n x_i \cdot y_i \\ a_0 \sum_{i=0}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=0}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=0}^n x_i^4 + a_3 \sum_{i=0}^n x_i^5 = \sum_{i=0}^n x_i^2 \cdot y_i \\ a_0 \sum_{i=0}^n x_i^3 + a_1 \sum_{i=0}^n x_i^4 + a_2 \sum_{i=0}^n x_i^5 + a_3 \sum_{i=0}^n x_i^6 = \sum_{i=0}^n x_i^3 \cdot y_i \end{array} \right. \quad (8)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Assim que tabulado os dados, organizados semanalmente, tanto os relativos aos novos casos como os referentes aos números de óbitos, foram construídos gráficos para analisar o comportamento de ambos. Inicialmente, analisaram-se os dados que dizem respeito até a última semana de abril de 2021 (semana 45), em que se tem apenas um índice baixo da população vacinada.

De acordo com o Modelo de Malthus apresentado na equação (7), foram substituídos os dados conforme informações da FUMSSAR da cidade de Santa Rosa/RS para o período analisado. Para tanto, a figura abaixo mostra o comportamento do Modelo de Malthus referente ao número total de casos de Covid-19, antes do impacto significativo da vacinação.

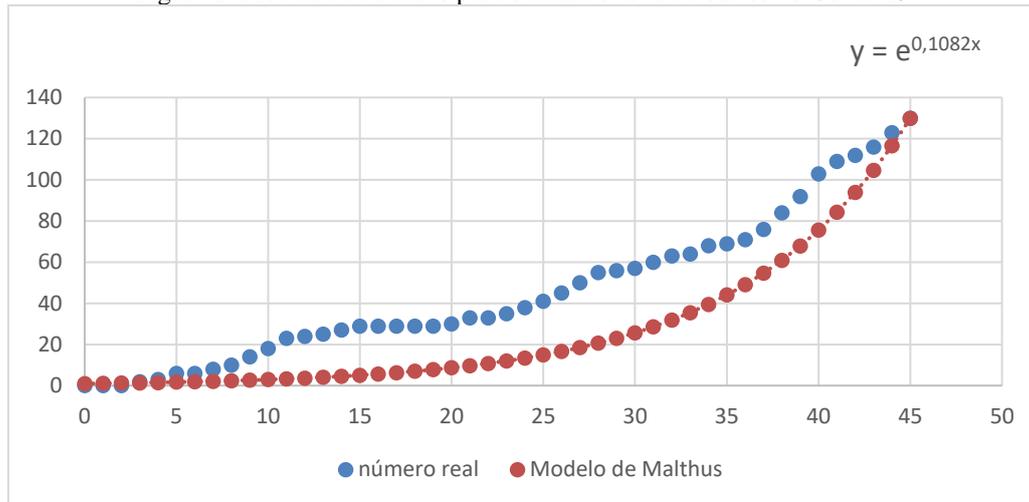
Figura 1: Modelo de Malthus para o número total de casos do Covid-19.



Fonte: Dados do projeto.

Da mesma forma, utilizou-se o Modelo de Malthus para descrever o comportamento do número do número de óbitos do Covid-19, para o mesmo período da figura anterior.

Figura 2: Modelo de Malthus para o número total de óbitos do Covid-19.

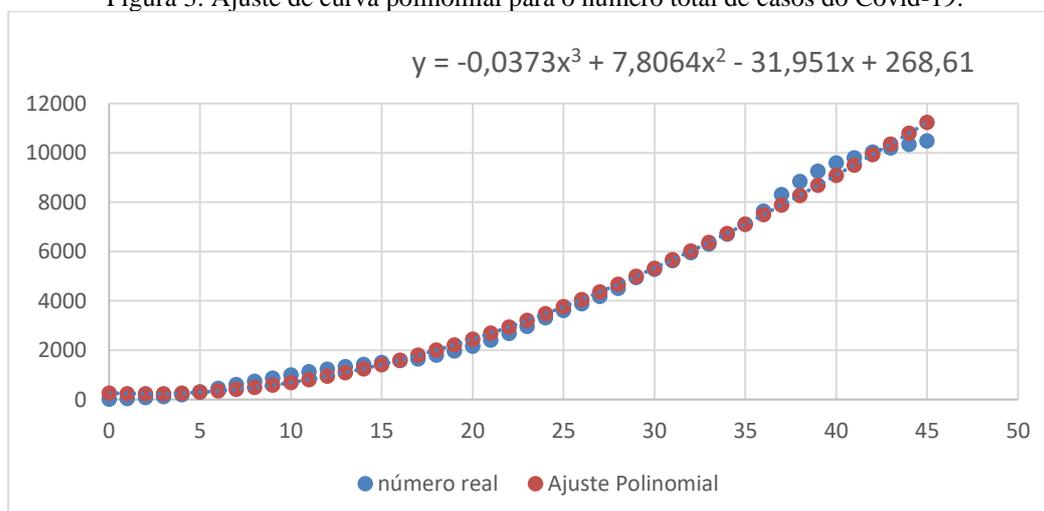


Fonte: Dados do projeto.

Desse modo, analisando graficamente o comportamento geral dos pontos percebe-se que o Modelo de Malthus não teve uma projeção muito próxima dos dados reais, com exceção do primeiro e último ponto, em que devem ser exatamente os mesmos. Teve-se uma dispersão considerada entre os dados reais e os modelados. Logo, concluiu-se que para a modelagem desse problema Malthus não possuiu um bom desempenho em descrever esses dados reais.

Na sequência, utilizando esse mesmo período foi aplicado ajuste de curva polinomial, conforme equação (8). Primeiramente, foi necessário calcular os somatórios dos termos para compor o sistema das matrizes, para isso fez-se uso do *software excel*, no qual também foi utilizado para tabular os dados. Dessa forma, obteve-se o polinômio abaixo ao modelar o número total de casos de Covid-19.

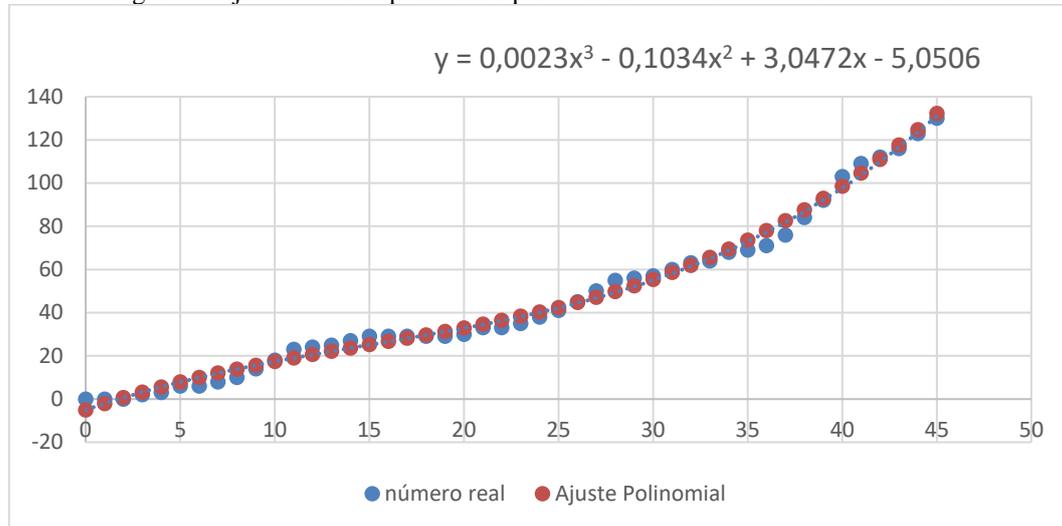
Figura 3: Ajuste de curva polinomial para o número total de casos do Covid-19.



Fonte: Dados do projeto.

Assim, também desenvolveu a modelagem para o número total de óbitos do Covid-19.

Figura 4: Ajuste de curva polinomial para o número total de óbitos do Covid-19.



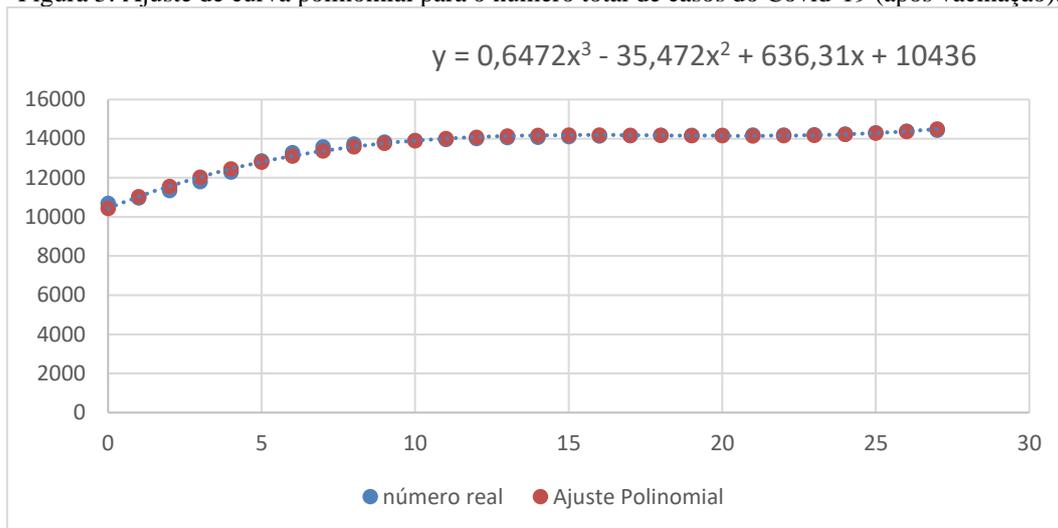
Fonte: Dados do projeto.

Percebe-se em ambos gráficos que, o Método de Ajuste Polinomial teve uma aproximação satisfatória com os dados reais. Dessa forma, o polinômio de ordem três foi suficiente para descrever um comportamento aproximado dos casos de contaminação e óbito, ao contrário do Método utilizado anteriormente. Logo, para as análises posteriores serão utilizados somente o Modelo de Ajuste Polinomial, o qual se obteve maior efetividade na representação das informações reais.

Assim sendo, na sequência foi analisado o período pós vacinação, o qual diz respeito aos dados a partir da primeira semana de maio de 2021 (semana 46). Ressalta-se que, a partir desse momento a vacinação começou a apresentar impactos relevante na diminuição do número de casos e óbitos, consequência da imunização de cerca de 20% da população Santa-rosense com a primeira dose e quase que 10% já com a segunda dose. Portanto, com essa mudança abrupta se viu a necessidade de separar em outra análise o período condizente pós vacinação.

Por conseguinte, a figura abaixo mostra a modelagem do ajuste polinomial para o número total de casos de Covid-19 após o período de vacinação.

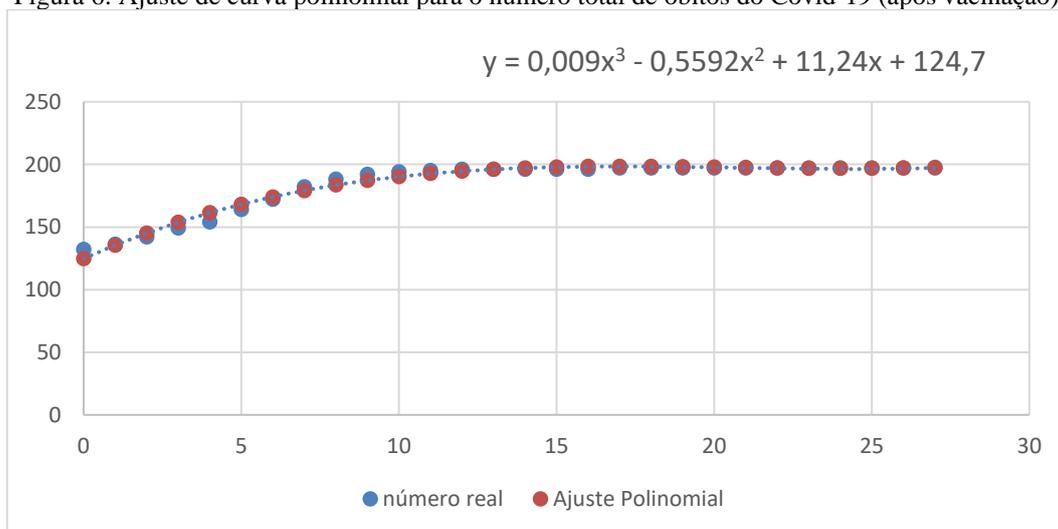
Figura 5: Ajuste de curva polinomial para o número total de casos do Covid-19 (após vacinação).



Fonte: Dados do projeto.

Isto posto, desenvolveu-se igualmente a modelagem para o número total de óbitos do Covid-19, para o mesmo período.

Figura 6: Ajuste de curva polinomial para o número total de óbitos do Covid-19 (após vacinação).



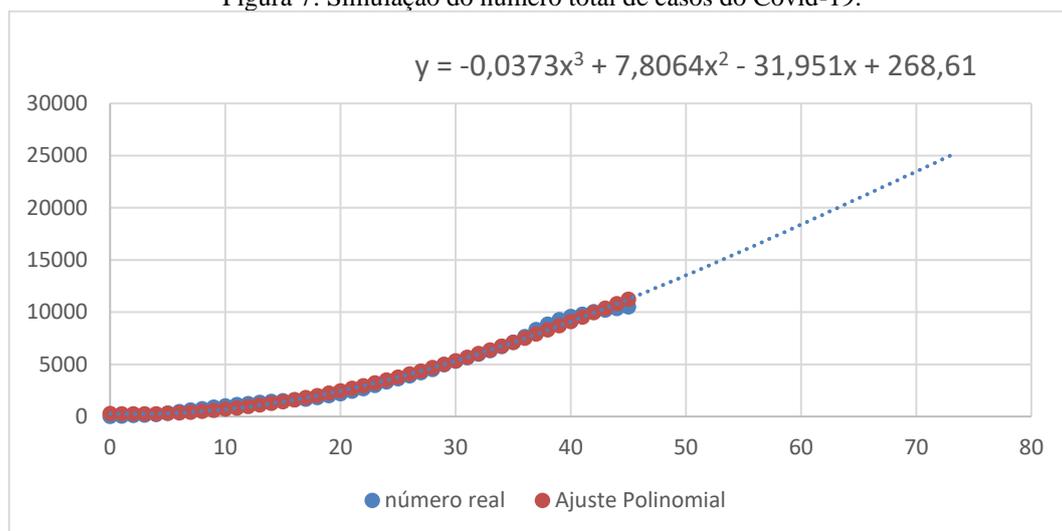
Fonte: Dados do projeto.

Analisando os Modelos elaborados para o número de casos e óbitos, pós o período de vacinação, pode-se verificar que novamente o Ajuste Polinomial de ordem três apresentou resultados adequados e condizentes com os dados reais. Além disso, observa-se que ambos gráficos são semelhantes em seu comportamento de crescimento, visto que possuem uma relação quase que direta, pois quanto maior o número de contaminados maior tende a ser o número de óbitos.

Ainda, nota-se nesses dados que até a semana 10 (do período pós vacinação) possui um crescimento em ambos gráficos, o qual a partir desse ponto começa a ser estabilizado e se mantendo quase que constante. Tal característica, justifica-se pelo fato do aumento de pessoas vacinadas tanto com a primeira e a segunda dose. Portanto, esse comportamento apresentado pelos dados reais demonstra o impacto positivo da vacinação em relação à pandemia.

Desse modo, supondo que não tivesse ocorrido a vacinação foi simulado como seria a situação do número de pessoas contaminadas e de óbitos pelo vírus, utilizando os Modelos construídos anteriormente através do Ajuste Polinomial. Logo, serão simulados os dados da primeira semana de maio a novembro de 2021, como se não tivesse o impacto da vacinação e seguisse o mesmo padrão de contaminação e óbitos apresentados até a última semana de abril de 2021.

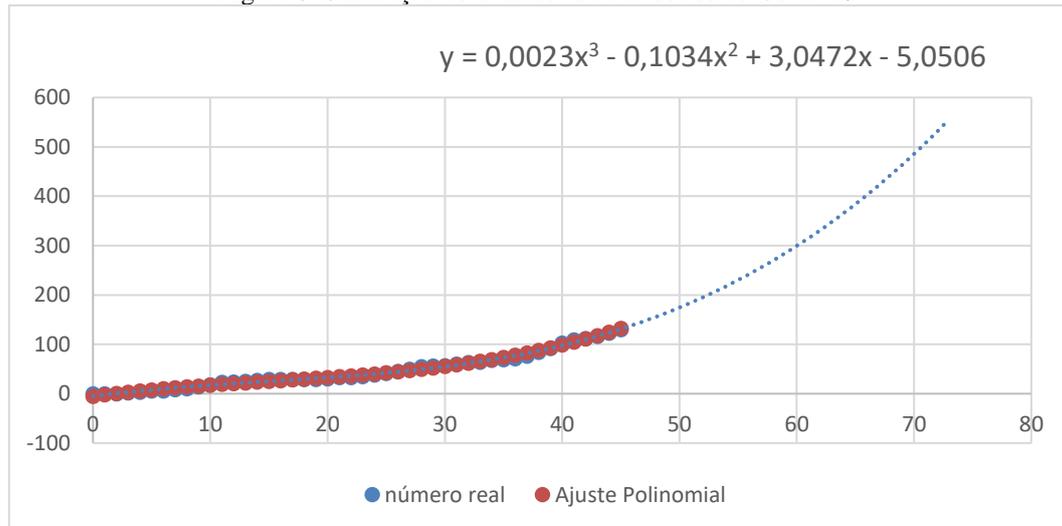
Figura 7: Simulação do número total de casos do Covid-19.



Fonte: Dados do projeto.

Ademais, simulou-se também o modelo determinado na modelagem do número total de óbitos.

Figura 8: Simulação do número total de óbitos do Covid-19.



Fonte: Dados do projeto.

Através dessas simulações, compreende-se que sem o impacto da vacinação na imunização contra o Covid-19, o número de contaminados e óbitos seria muito maior do que é hoje. Para o número de casos, seriam atingidas cerca de 25.026 pessoas com o vírus, sendo 10 mil casos a mais do que se tem na realidade. Já o número de óbitos seria de aproximadamente 561, o que corresponde 284,8% a mais do número real.

Com intuito de verificar o grau de relação entre as variáveis reais e as encontradas pelo Modelo de Malthus e também pelo Modelo de Mínimos Quadrados, utilizou-se do cálculo do coeficiente de Pearson (STANTON, 2001). Este coeficiente, de acordo com Filho e Junior (2009), trata-se de uma medida de associação linear entre variáveis, a qual busca mensurar a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas, conforme fórmula:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right) \quad (9)$$

Os cálculos dos coeficientes de correlação de Pearson foram realizados através da ferramenta do *Excel*, de modo que o processo seja facilitado e agilizado, visto a prontidão da ferramenta tecnológica. Na tabela abaixo, apresentamos os resultados de tal coeficiente para ambos os modelos utilizados no presente trabalho, os quais podem exprimir valores entre -1 a 1. Quando o coeficiente de correlação está próximo de zero indica que não

existe relação entre as variáveis analisadas, mas quando se aproxima dos extremos, -1 e 1, mais forte é a relação.

Tabela I: Coeficientes de Correlação de Pearson em ambos os modelos.

Correlação de Pearson		Modelo de Malthus	Ajuste Polinomial
Antes da vacinação	n° de casos	0,8880	0,9970
	n° de óbitos	0,9567	0,9963
Após vacinação	n° de casos	-	0,9945
	n° de óbitos	-	0,9899

Dados da Pesquisa (2021).

Conforme a tabulação dos cálculos do Coeficiente de Person para os métodos utilizados na pesquisa, o Método de Ajuste Polinomial demonstrou-se mais próximo do número um para os dados analisados, que implica em uma relação mais fidedigna aos valores reais e o referido modelo. Logo, o Método de Ajuste Polinomial demonstra o mais próximo da realidade e, por isso, se torna o método mais indicado para o uso nessa situação, até mesmo, para a aplicação de projeções futuras, em razão de seu menor índice de erro relativo ao Coeficiente de Correlação de Pearson.

5 CONCLUSÕES

Ao longo dessa pesquisa, destaca-se a importância da modelagem matemática em situações reais, dado que um modelo pode se destacar entre os outros, possibilitando a melhor representação possível em linguagem matemática condizente com a realidade. Dessa maneira, tem-se a possibilidade de explorar e realizar futuras projeções da situação problema, de modo a determinar tomadas de decisões mais precisas e favoráveis.

É importante ressaltar que, a Covid-19 é uma infecção respiratória ocasionada pelo coronavírus SARS-CoV-2, o qual desencadeou uma situação crítica na área da saúde pública mundialmente, devendo ser analisada seu comportamento em diferentes cidades, regiões, estados e países. Através dos resultados alcançados, analisado no contexto e informações do município de Santa Rosa, espera-se que contribuam com projeções de cenários futuros e ações que possam ser tomadas para evitar a incidência deste vírus na cidade.

Portanto, com os dados coletados durante os anos de 2020 e 2021 a respeito do COVID-19 na cidade de Santa Rosa/RS, foram possíveis a elaboração de modelos matemáticos que descrevessem a realidade. Bem como, através desses modelos foi possível analisar qual se enquadra melhor para demonstrar o comportamento real deste

vírus na cidade de Santa Rosa, em que o ajuste polinomial se mostrou mais próximo de descrever a realidade, com um erro baixo apresentado na função polinomial, comprovado com a correlação de Pearson.

REFERÊNCIAS

BARROSO, L. C.; BARROSO, M. M. A.; CAMPOS FILHO, F. F.; CARVALHO, M. L. B.; MAIA, M. L. **Cálculo Numérico (com aplicações)- 2º edição**. Editora Harbra Ltda, São Paulo, 1987.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática**. São Paulo: Contexto, 2004.

EISERMANN, Jonatan Ismael, THOMAS, Gilberto Carlos, **Equações Diferenciais Aplicadas à Dinâmica Populacional do Município de Santa Rosa/RS**, Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 44612-44616, jul. 2020. ISSN 2525-8761.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista Política Hoje, Vol. 18, n. 1, 2009

FUMSSAR. **Boletim Epidemiológico – COVID-19**. Fundação Municipal de Saúde – Santa Rosa/RS, novembro 2021. Disponível em: <<https://www.fumssar.com.br/>>.

MACEDO JÚNIOR, A. M. **Covid-19: calamidade pública**. Medicus, v.2, n.1, p.1-6, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6484.2020.001.0001>.

STANTON, J. M. **Galton, Pearson, and the peas: A brief history of linear regression for statistics instructors**. Journal of Statistical Education, vol.9, n.3, 2001. Disponível em: <<http://jse.amstat.org/v9n3/stanton.html>>. Acessado em: 26/01/2022.