

**Aplicação da modelagem epidemiológica Suscetível - Infectado - Recuperado frente à
ocorrência da COVID-19: uma revisão sistemática de literatura**

**Application of Susceptible - Infected - Recovered epidemiological modeling to the
occurrence of COVID-19: a systematic literature review**

**Aplicación de modelo epidemiológico Susceptible - Infectado - Recuperado delante de la
COVID-19: una revisión sistemática de la literatura**

Recebido: 21/10/2020 | Revisado: 27/10/2020 | Aceito: 07/11/2020 | Publicado: 12/11/2020

Alisson dos Anjos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3226-3473>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: alissons@ufba.br

Jamile de Almeida Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2645-7098>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: jamiledealmeida21@gmail.com

Júlia Spínola Ávila

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-4089>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: julia.savilaa@gmail.com

Maria Carolina Nascimento Carmo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3274-7200>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: mcarmocarol@gmail.com

Nátali de Carvalho Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8306-5787>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: natalilima13@hotmail.com

Helianildes Silva Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1936-0471>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: helianildes@ufba.br

Resumo

O objetivo deste artigo é analisar, através de uma revisão sistemática de literatura, a aplicação da modelagem epidemiológica Suscetível-Infetado-Recuperado, SIR, no cenário da pandemia causada pelo SARS-CoV-2. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico de produções científicas por meio da interface PubMed, a qual possui vínculo com a base de dados MEDLINE, e Biblioteca Virtual de Saúde, enfatizando achados que apresentassem alguma referência ao modelo epidemiológico SIR com comparações, aplicação à doença e críticas no contexto da COVID-19. Foram encontrados 151 documentos e após a leitura e critérios de seleção definidos, 7 artigos foram selecionados para a análise mais aprofundada da aplicação do modelo. Como resultado da coleta de dados identificou-se as seguintes categorias de análise: Público alvo, aspectos e contribuições para o entendimento da doença, modelos utilizados como referência aos artigos, avaliação e apresentação de limitações e críticas identificadas no uso desses modelos frente à COVID-19. Foi observado que não existe uma conformidade com relação ao uso de um modelo matemático mais adequado, sendo que para o modelo SIR ser utilizado, nesse contexto, foram sugeridas adaptações com a finalidade de obter um resultado mais preciso.

Palavras-chave: Modelagem epidemiológica SIR; COVID-19; Novo coronavírus.

Abstract

The aim of this article is to analyze, through a systematic literature review, the application of the, SIR, Susceptible-Infected-Recovered epidemiological modeling in the pandemic scenario caused by SARS-CoV-2. A bibliographic survey of scientific productions through the PubMed interface, which is linked to the MEDLINE database, and by the Virtual Health Library, emphasizing findings that presented some reference to the SIR epidemiological model with comparisons, application to disease and criticism in the context of COVID-19. 151 documents were found and after reading and defining selection criteria, 7 articles were selected for further systematic and in-depth analysis. As a result of data collection, the following categories of analysis were identified: Target audience, aspects and contributions for the understanding of the disease, models used as references to articles, assessment and presentation of limitations and criticisms when using these models to capture data on COVID-19. It was evaluated that there is no conformity regarding the use of a more adequate mathematical model, and for the SIR model to be used, in this context, adaptations were suggested in order to obtain a more accurate result.

Keywords: Epidemiological modeling SIR; COVID-19; New coronavirus.

Resumen

El objetivo de este artículo es analizar, a través de una revisión sistemática de la literatura, la aplicación del modelo epidemiológico Susceptible-Infectado-Recuperado, SIR, en el escenario de la pandemia causada por el SARS-CoV-2. Para ello, se realizó un estudio bibliográfico de producciones científicas por medio de la interfaz PubMed, que se relaciona con la base de datos MEDLINE, y Biblioteca Virtual en Salud, destacando hallazgos que presentaban alguna referencia al modelo epidemiológico SIR con comparaciones, aplicación a la enfermedad y críticas en el contexto de COVID-19. Se encontraron 151 documentos y luego de leer y definir los criterios de selección, se seleccionaron 7 artículos para un análisis más detallado de la aplicación del modelo. Como resultado de la recolección de datos, se identificaron las siguientes categorías de análisis: Público objetivo, aspectos y aportes al conocimiento de la enfermedad, modelos utilizados como referencias a los artículos, valoración y presentación de limitaciones y críticas identificadas en el uso de estos modelos para COVID-19. Se observó que no hay conformidad con respecto al uso de un modelo matemático más adecuado y para el uso del modelo SIR, en este contexto, se sugirieron adaptaciones para obtener un resultado más preciso.

Palabras clave: Modelo epidemiológico SIR; COVID-19; Nuevo coronavirus.

1. Introdução

O SARS-CoV-2 é um novo tipo de coronavírus causador da doença COVID-19, o qual é responsável pela ocorrência de problemas respiratórios em animais e humanos. A velocidade de propagação desse vírus pode ser avaliada pelo seu número básico de reprodução (R_0), que tem a capacidade de apresentar o quantitativo de pessoas que podem ser infectadas por um indivíduo que apresenta determinada patologia (Lana et al., 2020).

O R_0 para a doença em questão é indicado pela literatura com variação estimada entre 1,6 a 4,1, enquanto que para o vírus H1N1, por exemplo, o quantitativo é de 1,3 a 1,8 (Cao et al., 2020; InfoGripe, 2020; Read, Bridgen, Cummings, Ho, & Aweel, 2020). Ademais, é conhecida que a taxa de letalidade do vírus gira em torno de 0,5 a 4%; porém, mesmo considerando esta recém descoberta, fatores quanto à evolução do vírus, patogenicidade, possíveis consequências derivadas da doença, além de outros aspectos, ainda são desconhecidos (Silva, 2020).

Estudos epidemiológicos realizados através do uso de modelos matemáticos, têm se mostrado como um método relevante para o direcionamento de medidas de controle mais

eficientes e eficazes contra diversas doenças. Os parâmetros descritivos de uma epidemia, ao longo do tempo, contribuem para o entendimento do seu comportamento no âmbito social, o que pode possibilitar prever a escala de tempo dela, bem como realizar análises sobre a efetividade de intervenções e políticas de saúde mais adequadas ao contexto de aplicação (Roda, Varughese, Han, & Li, 2020).

Um dos modelos matemáticos mais estudados é o denominado Suscetível - Infectado – Recuperado (SIR), precursor na análise do processo de transmissão das epidemias, formulado por Kermack e McKendrick (1932). Chamado de compartimentado, o SIR divide a população total em três estados: suscetíveis, infectados e recuperados. Para fins de cálculo, considera-se que: indivíduos estão distribuídos de forma aleatória e homogênea, com taxas de natalidade e mortalidade constantes e iguais; a doença é transmitida por contato entre um infectado e um ou vários suscetíveis; infectados recuperados ganham imunidade; o período de latência da doença é fixado em zero e os processos migratórios da população não estão inclusos (Tavares, 2017). Observa-se, na literatura, a ampla utilização desse modelo matemático na análise de doenças virais como Influenza (Caetano, 2010), Hepatite (Cristóvão, 2015), Dengue (Troyo, 2013), entre outras.

Por esse ser um tema vigente – considerando o alerta de emergência na área da Saúde Pública, de importância internacional, realizado pela Organização Mundial da Saúde (World Health Organization, 2020) e a relevância do modelo SIR para a compreensão de doenças de emergência atual e global –, o objetivo deste artigo é analisar, através de uma revisão sistemática de literatura, a aplicação da modelagem epidemiológica SIR no cenário da pandemia causada pelo SARS-CoV-2, observando-se de que forma tem sido utilizada, se existem limitações e as principais características e contribuições à Academia.

2. Metodologia

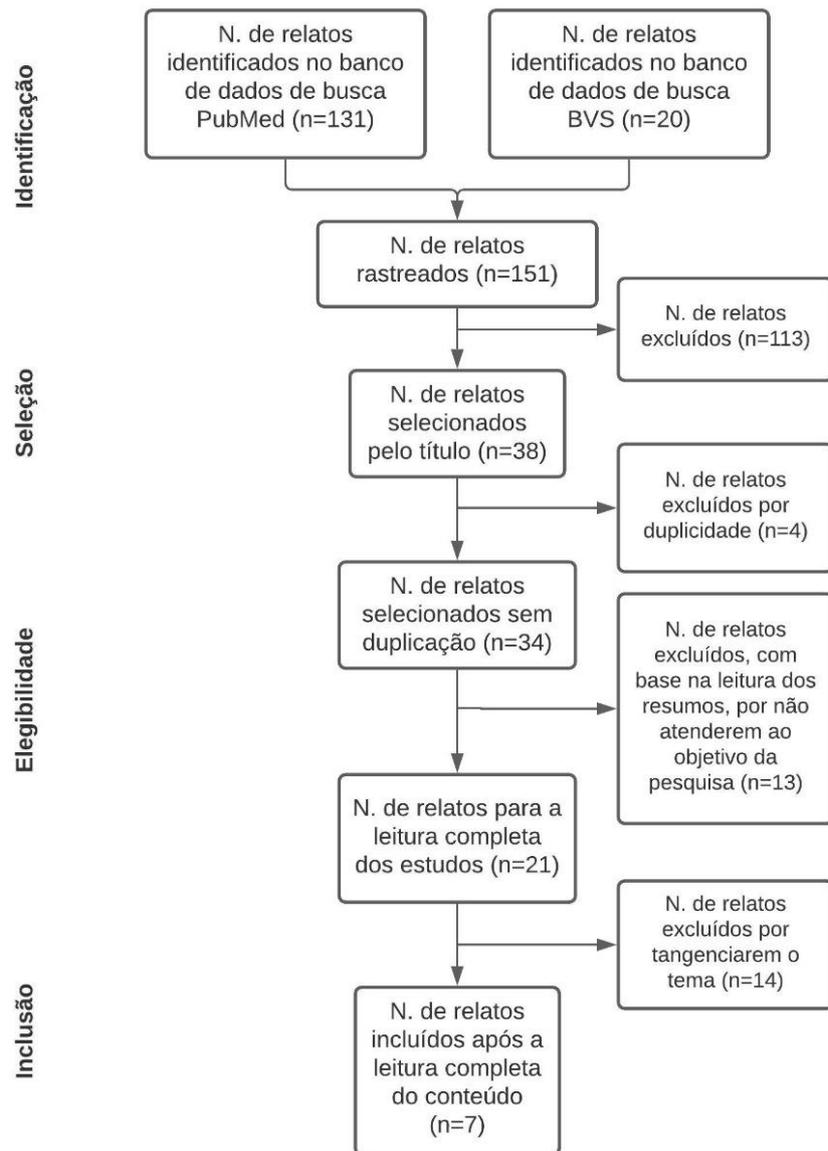
Para a elaboração deste estudo, foi realizada uma revisão sistemática de literatura com análises quantitativas e qualitativas a fim de possibilitar o embasamento teórico para a compreensão e discussão dos dados encontrados no decorrer do artigo, conforme salienta Bento (2012) e Pracião e Feitosa (2020). Essa metodologia contribui para uma definição mais precisa do problema, bem como para o desenvolvimento do conhecimento (Echer, 2001; Silva, Ono, Souza, & Menin, 2020).

Inicialmente, foi feito um levantamento de produções científicas relacionadas ao modelo matemático SIR e ao novo coronavírus por meio da interface PubMed (vinculada à

base de dados MEDLINE) e pela Biblioteca Virtual de Saúde no dia 15 de maio de 2020. Em seguida, aplicou-se critérios de busca, utilizando os descritores: “*SIR model*” e “COVID-19”; “*Modeling epidemiological*” e “*New coronavirus*”, manipulados pelo operador booleano “AND”. Como uma das finalidades do presente estudo foi ter uma amplitude maior de resultados e assim ter uma revisão mais fundamentada, a escolha dos descritores e das suas combinações se deu por testes de termos relacionados ao tema nas bases de dados já citadas, tendo em vista que, ao consultar os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), apenas o termo “COVID-19” foi encontrado. O único filtro utilizado foi o período de publicação, entre os anos de 2010 a 2020, em qualquer idioma ou local de publicação. Artigos de revisão, monografias, teses e dissertações não foram considerados para o estudo.

Durante as buscas, foram encontrados 151 documentos. Na primeira seleção, houve a avaliação dos títulos das publicações, em que foram excluídos aqueles que se tratavam de revisões sistemáticas e de outras patologias (visto que não se referiam à doença em análise). Após a análise dos títulos ocorreu a exclusão de 4 artigos que apresentavam duplicidade, restando 34 documentos. Depois da leitura dos resumos, os artigos que não abordavam modelos epidemiológicos e que não cumpriam os critérios de inclusão (como abordagem de modelos epidemiológicos e ao SARS-CoV-2) foram retirados, totalizando 21 artigos para a leitura completa. Por fim, após a leitura, observou-se que 8 artigos tangenciavam o tema e 6 davam ênfase a outros modelos epidemiológicos compartimentais, logo, restando 7 artigos para a análise mais sistemática e aprofundada. Todo o processo metodológico foi realizado por dois autores, de forma individual, e com base na recomendação PRISMA (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & The Prisma Group, 2009). O fluxograma da metodologia de seleção dos artigos a partir de critérios de identificação, elegibilidade e inclusão está descrito na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da seleção dos artigos para análise.



Fonte: Elaboração própria.

3. Resultados

Os artigos selecionados e suas características gerais estão apresentados no Quadro 1. Entre os critérios observados estão o tipo de estudo, quais os modelos matemáticos utilizados no artigo, a localidade estudada, aspectos da COVID-19 encontrados e resultados relatados. Todos os artigos selecionados foram publicados no ano de 2020, fato este que possui relação direta com o momento temporal, no qual a patologia em questão foi denominada como uma pandemia, o que colaborou para evidenciar a urgência no seu enfrentamento.

Como resultado da revisão sistemática de literatura foi possível observar as seguintes categorias de análise: “Público alvo” (Quadro 2), tratando-se da identificação das regiões em que a população estudada se encontra; “Aspectos e contribuições para o entendimento da doença” (Quadro 3), em que se verificou a presença de questões relativas à História natural da doença, Gestão em saúde e Estratégias de controle e prevenção; “Modelos utilizados como referência” (Quadro 4), a categoria mais relevante desse estudo, na qual se identifica as formas de aplicação dos modelos epidemiológicos no artigo em detrimento da modelagem Suscetível-Infetado-Recuperado e o SIR como norteador do estudo, podendo estar associado a outros métodos de análise ou modelagens; “Avaliação do modelo utilizado” (Quadro 5), a partir da conclusão dos autores após o uso dos referidos modelos, se foram capazes de apresentar estimativas relevantes ou insatisfatórias para alcançar as respostas almejadas; e as principais “Limitações e críticas” (Figura 2) identificadas no uso desses modelos para a coleta de dados sobre a COVID-19.

Quadro 1 - Aspectos identificados nos artigos analisados correspondentes ao período entre 2010 a 2020.

Título do artigo	Autores dos artigos analisados	Modelos identificados	Localidade estudada	Contribuições para o entendimento da doença
<i>A Possible Scenario for the COVID-19 Epidemic, Based on the SI(R) Model</i>	Rocchi, Peluso, Sisti, & Carletti (2020)	Outros- SI(R)	Itália (província de Pesaro-Urbino e China)	Gestão em saúde História natural da doença
<i>Accurate closed-form solution of the SIR epidemic model</i>	Barlow & Weinstein (2020)	SIR+ Métodos	Japão	Controle e prevenção
<i>Analysis of COVID-19 infection spread in Japan based on stochastic transition model</i>	Karako, Song, Chen, & Tang (2020)	SIR+ modelo estocástico	Japão (simulação)	Controle e prevenção
<i>Lockdown, one, two, none, or smart. Modeling containing COVID-19 infection. A</i>	Ibarra-Vega (2020)	SIR	Nenhuma (População genérica de 100 mil hab.)	Gestão em saúde Controle e prevenção Dados

<i>conceptual model</i>				epidemiológicos
<i>Mathematical modeling of the spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) taking into account the undetected infections. The case of China</i>	Ivorra, Ferrández Vela-Pérez, & Ramo (2020)	θ -SEIHRD	China (China Continental, Macau, Hong Kong e Taiwan)	Gestão em saúde
<i>Using the contact network model and Metropolis-Hastings sampling to reconstruct the COVID-19 spread on the Diamond Princess</i>	Liu, Li, & Zhu (2020)	Outros-modelo de rede de contato + amostragem Metropolis-Hastings	Japão (Navio de cruzeiro <i>Diamond Princess</i>)	Controle e prevenção
<i>Why is it difficult to accurately predict the COVID-19 epidemic?</i>	Roda, Varughese, Han, & Li (2020)	SIR+ métodos	China (Wuhan)	Controle e prevenção

Fonte: Elaboração própria.

3.1 Público-alvo e região de análise

O público-alvo foi analisado a partir das regiões apresentadas nos artigos para a coleta de dados utilizados nas simulações e estimativas. Como observa-se na Quadro 2, Japão, China e Itália foram os países escolhidos para análise (Barlow & Weinstein, 2020; Ivorra, Ferrández Vela-Pérez, & Ramo, 2020; Karako, Song, Chen, & Tang, 2020; Liu, Li, & Zhu, 2020; Rocchi, Peluso, Sisti, & Carletti, 2020; Roda et al., 2020). Há somente uma exceção, em que houve a simulação de uma população genérica de 100 mil habitantes (Ibarra-Vega, 2020).

Quadro 2 – Quantitativo das regiões analisadas pelos artigos selecionados.

Regiões	Quantidade
China	2
Itália	1
Japão	3
Nenhuma região	1
Total	7

Fonte: Elaboração própria.

Na China, as regiões escolhidas foram Wuhan (Roda et al., 2020), China Continental, Macau, Hong Kong e Taiwan (Ivorra et al., 2020). Tratando-se da Itália, foi a província de Pesaro-Urbino (Rocchi et al., 2020), enquanto no Japão a localidade foi abordada de modo geral, com exceção do artigo que deu ênfase ao navio cruzeiro *Diamond Princess* (Liu et al., 2020). Desse modo, não há um padrão quanto à forma de uso do SIR nessas localidades, como pode ser verificado no Quadro 1.

Pode-se observar que China (Ivorra et al., 2020; Roda et al., 2020; Rocchi et al., 2020) e Japão (Liu et al., 2020; Karako et al., 2020; Barlow & Weinstein, 2020) aparecem com maior destaque em detrimento da Itália (Rocchi et al., 2020) no quantitativo de estudos disponíveis conforme as categorias analisadas.

3.2 Aspectos e contribuições para o entendimento da doença

As principais questões levantadas quanto à COVID-19 na ordem de frequência com a qual aparecem são “Estratégias de controle e prevenção” (Ibarra-Vega, 2020; Liu et al., 2020; Roda et al., 2020), “Gestão em saúde” (Ivorra et al., 2020; Karako et al., 2020) e “História natural da doença” (Barlow & Weinstein, 2020; Rocchi et al., 2020), como se observa na Quadro 3.

Quadro 3 – Contribuições relacionadas à COVID-19 levantadas pelos artigos e os respectivos quantitativos.

Contribuições	Quantidade
Estratégias de controle e prevenção	4
Gestão em Saúde	3
História natural da doença	2

Fonte: Elaboração própria.

As estratégias de prevenção e controle apresentadas enfatizam a necessidade de minimizar os riscos de exposição do público ao vírus. Nessa perspectiva, a quarentena e o isolamento social destacam-se como as mais citadas (Liu et al., 2020; Ibarra-Vega, 2020; Roda et al., 2020), seguidas do uso de equipamentos de proteção individual e cuidado com a circulação de ar em ambientes fechados (Liu et al., 2020).

Acredita-se que os bloqueios e redução do contato entre os indivíduos infectados e suscetíveis sejam essenciais para adiar o tempo de propagação da doença e fortalecer os sistemas de saúde que podem ficar sobrecarregados no contexto da COVID-19 (Ibarra-Vega, 2020). Todavia, não há um consenso quanto à forma de aplicação da quarentena. Roda et al. (2020), por exemplo, consideram que a sua aplicação deve ser rigorosa, estimando, a partir de projeções probabilísticas paralelas aos dados reais em Wuhan, que o pico total de casos alcançaria aproximadamente 120.000 infectados se o bloqueio e as restrições de viagens para a cidade não houvessem desacelerado a transmissão. Medidas como inspeção porta a porta para casos suspeitos, interdição de edifícios e de algumas áreas dos condomínios residenciais são citadas.

Ibarra-Vega (2020) afirma que três tipos de quarentena são eficazes na redução de infectados no cenário em que não há isolamento rigoroso: inicialmente haveria um bloqueio estendido e depois um gradual retorno às atividades, mas com o controle de contatos sociais para que correspondam ao máximo de 40% àquele anterior à pandemia e por fim uma restrição de contato de 50% mantida. Os demais pesquisadores não se aprofundam na forma de aplicação de um controle de propagação do vírus, mas reconhecem a sua efetividade para a contenção da doença (Liu et al., 2020; Ivorra et al., 2020).

Segundo Liu et al. (2020) o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como macacão, máscaras e capas para os olhos, é útil para a prevenção de infecções, tanto para pessoas que não lidam diretamente com a patologia, quanto e principalmente para profissionais da área de saúde. Esses autores reconstróem a curva epidêmica no Navio de cruzeiro *Diamond Princess* e salientam a necessidade de ventilação e trocas de ar em locais fechados a fim de reduzir a concentração de partículas virais disseminadas no ar, concluindo que se o padrão de contato intensivo e desprotegido for mantido por um período, em alguns dias, a curva epidêmica pode subir drasticamente.

A segunda questão mais abordada nos artigos é sobre a Gestão em saúde, ou seja, dados, medidas e estratégias norteadoras de políticas públicas e intervenções do Estado com a finalidade de lidar com a doença. Entre as citadas estão as estimativas de leitos que são necessários para um hospital durante a epidemia e de casos reais em detrimento daqueles que

são confirmados diariamente. Evidencia-se que esses casos não detectados podem representar cerca de 52% do número total leitos e causar, ainda, cerca de 37% do total de infecções (Ivorra et al., 2020). Além disso, existe a quantificação de novos casos, mortes, pessoas hospitalizadas e o uso de testes para detecção da doença (Ivorra et al., 2020, Karako et al., 2020).

Ivorra e colaboradores (2020) consideram que uma campanha de detecção (sem citar exatamente qual teste seria utilizado) possibilita uma redução drástica da magnitude da epidemia, ao aumentar o percentual de testes. Para Karako et al. (2020), a realização do teste da Proteína C Reativa (PCR) em todos os indivíduos não é uma medida eficaz contra o SARS-Cov-2 por causa do risco de exposição de contaminação cruzada em instalações médicas ou a caminho da unidade de saúde, bem como baixa taxa positiva, alta taxa de falso-negativos, baixa carga viral do paciente ou amostragem clínica inadequada. O teste, portanto, só seria eficiente caso essa exposição ao vírus fosse realmente evitada e controlada.

Outro tópico abordado é a História natural da doença. Barlow e Weinstein (2020), por meio de gráficos da progressão da epidemia e baseados no modelo SIR, demonstram a relevância do aproximador assintótico de modo fornecer soluções analíticas precisas para esta modelagem, entretanto eles não apresentam no estudo realizado dados significativos sobre a doença. Rocchi et al. (2020) consideram que há um equilíbrio no decurso da doença no momento em que quase toda a população (83%) não será suscetível à infecção, por motivo de estar infectado ou ainda imune, devido a uma cura recente, o que dependeria de fatores externos como características da taxa de contágio do vírus, padrão de contatos sociais e familiares de uma nação e a política de contenção usada para reduzir a disseminação do vírus.

3.3 Modelos epidemiológicos presentes nos estudos

A partir dos dados apresentados na Quadro 4, percebe-se que, do total de 7 artigos que se referem aos modelos epidemiológicos, no contexto da pandemia do novo coronavírus, 2 estudos abordam outros modelos já existentes, nos quais a modelagem simples SIR é excluída, sendo eles o SI(R) (Rocchi et al., 2020) e o modelo de rede de contatos juntamente com a amostragem *Metropolis-Hastings* (Liu et al., 2020). Ademais, 1 artigo fez referência direta a criação de um modelo específico para analisar o cenário envolvendo a COVID-19, sendo ele o θ -SEIHRD (Ivorra et al., 2020).

Quadro 4 - Modelos epidemiológicos identificados nos artigos analisados.

Modelos epidemiológicos	Quantidade
SIR + modelo estocástico	1
Modelo criado	1
Outros modelos já existentes	2
SIR + Métodos	2
SIR	1
Total	7

Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar os artigos, percebeu-se que o modelo SIR sem nenhuma associação, seja de algum método matemático ou outro modelo, representou 14,3% (1) dos estudos (Ibarra-Vega, 2020), já a modelagem em questão associada a alguns métodos matemáticos corresponde a 28,5% (2) (Roda et al., 2020; Barlow & Weinstein, 2020). Outros modelos que não possuem relação com o SIR representam 28,5% (2) (Rocchi et al., 2020; Liu et al., 2020), o SIR associado ao modelo de transmissão estocástica, 14,3% (1) (Karako et al., 2020) e modelos criados, 14,3% (1) (Ivorra et al., 2020). Dessa maneira percebe-se que a utilização da modelagem SIR, seja isolada, associada a algum método matemático ou outro modelo, apresenta um maior quantitativo de produções bibliográficas.

É importante ressaltar que a presente modelagem epidemiológica acompanhada por outros métodos matemáticos, sugeridos por Barlow e Weinstein (2020) e Roda et al. (2020), a exemplo da inferência bayesiana e do algoritmo Monte Carlo da cadeia de Markov do conjunto invariante, destacam-se em detrimento da criação de um novo modelo, da utilização apenas do SIR e do mesmo com a modelagem estocástica.

3.4 Avaliação dos modelos utilizados

Com base nas conclusões apresentadas nos artigos, buscou-se verificar a eficiência das modelagens epidemiológicas no contexto do SARS-CoV-2. Em 6 artigos, os autores chegaram à conclusão de que os modelos epidemiológicos apresentados em seus estudos

demonstraram ser capazes de fornecer estimativas consideráveis e soluções analíticas precisas às demandas expostas por eles no cenário da ocorrência da COVID-19, como demonstra a tabela (Barlow & Weinstein, 2020; Ibarra-Vega, 2020; Ivorra et al., 2020; Karako et al., 2020; Liu et al., 2020; Roda et al., 2020). Em contrapartida, o modelo SI(R) apresentado por Rocchi et al. (2020) demonstrou ser insatisfatório para contemplar os objetivos estabelecidos no delineamento da pesquisa, pois precisava de uma quantidade significativa de variáveis externas para atender à proposta de análise. Neste caso, os dados utilizados só seriam validados a depender do rigor técnico das instituições de saúde pública para monitorar a qualidade e a veracidade das informações coletadas em relação à sociedade.

Quadro 5 – Avaliação dos autores sobre os resultados encontrados a partir da utilização dos modelos epidemiológicos escolhidos

Avaliação	Quantidade
Estimativas relevantes	6
Insatisfatórios	1
Total	7

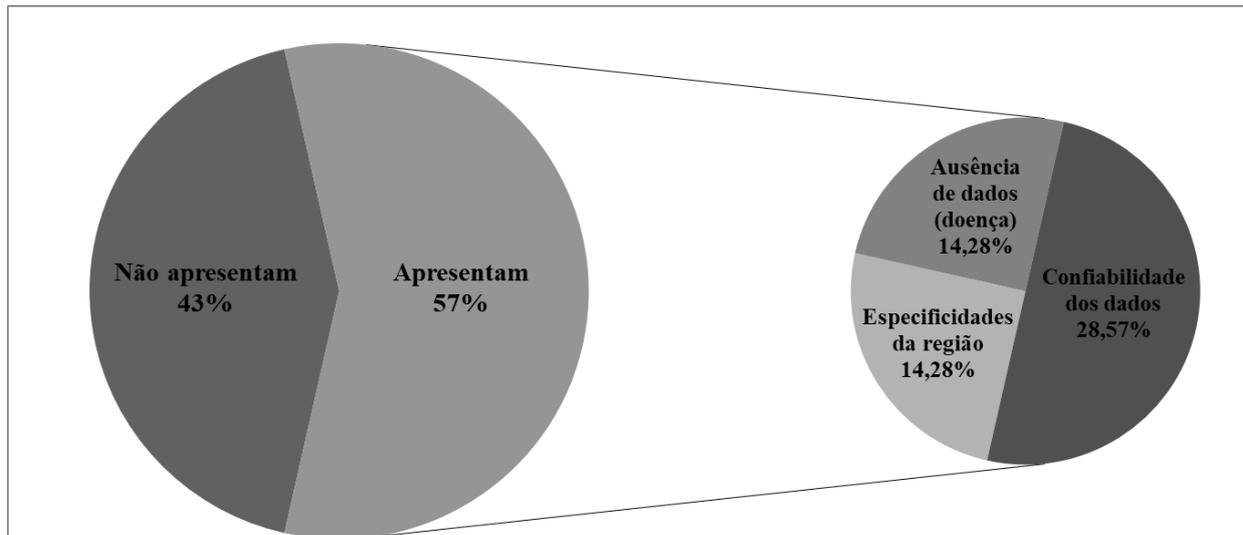
Fonte: Elaboração própria.

3.5 Limitações nos estudos e críticas identificadas

Segundo Barros, Leite, Oliveira, & Bassanezi (2007), os estudos epidemiológicos possuem uma certa porcentagem de incerteza, a qual pode afetar a efetividade de predição deles. Por isso, considerou-se relevante analisar as limitações encontradas a partir da leitura dos artigos selecionados para esta revisão de literatura.

Conforme apresenta a Figura 2, 42,8% (3) dos modelos matemáticos analisados, com base na interpretação dos autores das produções científicas que foram incluídas, não apresentaram alguma limitação (Karako et al., 2020; Ibarra-Vega, 2020; Roda et al., 2020). Em relação aos 57,14% (4) das modelagens que apontaram alguma limitação, 28,57% (2) apresentaram baixa confiabilidade na representação dos dados (Rocchi et al., 2020; Liu et al., 2020), 14,28% (1) identificaram ausência de dados sobre o novo coronavírus (Barlow & Weinstein, 2020) e 14,28% (1) não consideraram as especificidades do local estudado (Ivorra et al., 2020).

Figura 2 – Quantitativo das principais limitações apresentadas pelos autores na utilização dos modelos epidemiológicos para análise da COVID-19 (n=7).



Fonte: Elaboração própria.

Nas pesquisas realizadas por Rocchi et al. (2020) e Liu et al. (2020), os dados foram obtidos, na maioria das vezes, sem uma validação, o que reduz a confiabilidade do trabalho realizado e dificulta a comparação entre países distintos. Ivorra et al. (2020) consideram apenas a transmissão comunitária na aplicação do modelo, em que o deslocamento internacional de pessoas não apresenta tanta significância e a distribuição espacial da doença é omitida no local. Esses autores relataram que o estudo foi limitado pelo fato de haver mudanças nas diretrizes para contagem dos casos na China, imprecisão sobre o quantitativo de infecções não documentadas e incertezas sobre o comportamento da COVID-19. Além disso, Barlow e Weinstein (2020) reconheceram que os dados relacionados ao referido agente patológico sofrem influência de ações transitórias, a exemplo do tempo de espera da exposição, aspecto que o modelo SIR não considera.

Os estudos realizados mostram a importância da análise dos dados epidemiológicos no contexto do novo coronavírus (Barlow & Weinstein, 2020; Ibarra-Vega, 2020; Ivorra et al., 2020; Karako et al., 2020; Liu et al., 2020; Rocchi et al., 2020; Roda et al., 2020). Todavia, percebe-se que grande parte das limitações consistem na utilização de dados os quais não possuem fidedignidade no entendimento, ainda restrito sobre a patologia abordada, o que acaba interferindo nos resultados gerados pelos modelos.

4. Discussão

Com base nos artigos analisados, observou-se o que apresentava cada resultado das pesquisas para uma avaliação mais precisa do desenvolvimento da COVID-19, em meio à pandemia, justamente pelo fato de se tratar de uma revisão capaz de analisar uma problemática internacional, atual e urgente. Assim, conforme o presente levantamento sistemático da literatura, foi constatado que os artigos encontrados apresentam, principalmente, dados advindos da China (Ivorra et al., 2020; Roda et al., 2020) e do Japão (Liu et al., 2020; Karako et al., 2020; Barlow & Weinstein, 2020), aparecendo como países com maior relevância para os estudos.

Uma das possíveis justificativas para tal ocorrido pode estar relacionada à propagação do patógeno, que teve seu início na China, conforme salienta Lana et al. (2020), estendendo-se posteriormente por outros países do continente asiático, o que pode ter gerado uma maior concentração de estudos nesse local. Ao analisar que a COVID-19 tenha se tornado uma pandemia (Ibarra-Vega, 2020) e ao verificar os locais onde as modelagens foram aplicadas, percebe-se a existência de uma pequena amostragem de pesquisas que abordam os referidos modelos. Fato esse que torna os estudos menos abrangentes em relação às diversas localidades que enfrentam a mesma problemática.

Analisando as possíveis contribuições, na conjuntura da COVID-19, percebeu-se que os artigos tratavam sobre atitudes que podem ser tomadas para o controle da propagação do vírus, seguido de ações no âmbito da Gestão em saúde (Karako et al., 2020; Ibarra-Vega, 2020; Ivorra et al., 2020; Liu et al., 2020; Roda et al., 2020). Tais atitudes apresentam-se como relevantes, pois com base em métodos de controle e prevenção, já abordados e que também são evidenciados em outras produções científicas a exemplo de Selvati, Teixeira, Loureiro e Pereira (2020), a incidência da doença na população afetada pode ser reduzida por ações que resguardem a saúde dos indivíduos nos países afetados. Ademais, as curvas epidêmicas foram analisadas em alguns casos, sem considerações maiores acerca de outros aspectos que possam contribuir para um melhor entendimento do agente patológico abordado (Barlow & Weinstein, 2020; Rocchi et al., 2020).

Com relação aos métodos de prevenção aplicados nos artigos analisados (Ibarra-Vega, 2020; Karako et al., 2020; Liu et al., 2020), o isolamento social e a quarentena apresentaram resultados positivos. Isso porque, segundo Ibarra-Vega (2020), as quarentenas que foram implementadas no início da propagação do vírus possibilitaram uma redução de 90% dos contatos, assim como o uso de EPIs (Liu et al., 2020), os quais se mostraram eficazes. Ivorra

et al. (2020) sugerem medidas de isolamento e quarentena, como também rastreamento e controle sanitário, dentro dos parâmetros da Gestão em saúde. Vale frisar que o controle de doenças transmissíveis é obtido através da interrupção da cadeia de transmissão, de modo que o enfoque na prevenção é primordial, pois evita a propagação da doença e limita a incidência da mesma (Organização Pan-Americana de Saúde, 2010).

De acordo com a abrangência dos modelos matemáticos nos artigos, constatou-se algumas limitações, pois mesmo esses atendendo as finalidades das produções bibliográficas, os autores destacaram abordagens indiretas e a restrição nos dados quantitativos sobre a doença (Barlow & Weinstein, 2020). Essas questões contribuem para promover a incerteza nos resultados, a qual corresponde à uma característica comum entre os modelos matemáticos. Como mais da metade dos artigos selecionados apresentaram alguma limitação (Rocchi et al., 2020; Liu et al., 2020; Barlow & Weinstein, 2020; Ivorra et al., 2020), pode-se inferir que grande parte das modelagens epidemiológicas abordadas necessitam de alguns ajustes para que a utilização delas seja a mais adequada possível no cenário estudado.

Segundo Roda et al. (2020), a modelagem epidemiológica SIR é denominada como um modelo matemático simples, o que facilita a sua aplicação em algumas pesquisas por possuir poucas variáveis. Ainda assim percebeu-se que a maior parte dos estudos empregou o modelo simples SIR associado a algum método matemático ou a utilização de outros modelos existentes, nos quais foram realizados apenas a sua aplicação conforme os respectivos objetivos. De acordo com Liu et al. (2020), a presente modelagem utilizada isoladamente não retrata a realidade com relação as características da população, visto que a considera como homogênea enquanto ela é heterogênea.

O SIR sem nenhuma outra abordagem complementar apresentou limitações na análise do contexto que envolve o novo coronavírus, o que pode ser uma das explicações para a utilização e criação de outros modelos epidemiológicos. Ivorra e colaboradores (2020) criaram a modelagem Suscetíveis-Expostos-Infectados-Hospitalizados-Recuperados-Óbitos (θ -SEIHRD), tomando por base o modelo *Between-Countries Disease Spread* (Be-CoDiS), cujo o objetivo é simular a propagação de uma determinada doença e identificar zonas de risco em todo o mundo (Ivorra, Ngom, & Ramos, 2018).

Ademais, Rocchi et al. (2020) apresentam a modelagem Suscetíveis-Infectados-Recuperados-Suscetíveis (SIRS) ou SI(R) – onde os parênteses indicam um estado transitório da variável R. Os autores consideram que existe uma imunidade temporária dentro do grupo de recuperados e por isso é mais eficaz considerar um novo agrupamento de suscetíveis. Já Liu et al. (2020) faz uso do modelo de rede de contatos, no qual é utilizada a inferência

bayesiana, que apresentou resultado satisfatório em sua associação com o SIR, e a amostragem *Metropolis-Hastings* para analisar alguns parâmetros, como propagação aérea do vírus em uma população heterogênea, isolamento social e quantificação de incertezas dos padrões de contato social.

O modelo SIR associado a outros sistemas matemáticos, como aproximantes assintóticos, transmissão estocástica e *Systems Dynamics* mostrou-se eficiente no que se refere à avaliação da pandemia em questão, pelo fato de ampliar as perspectivas de estudo, incluindo variáveis que não eram levadas em consideração quando se tratava da utilização da modelagem SIR simples (Barlow & Weinstein, 2020; Ibarra-Vega, 2020; Karako et al., 2020).

5. Considerações Finais

Diante das pesquisas e estudos realizados, observa-se a importância da análise dos dados epidemiológicos em um contexto de epidemia/pandemia. Com isso, a utilização de modelos matemáticos torna-se uma das principais ferramentas para o desenvolvimento de ações voltadas à sociedade, de modo geral, e as localidades que registram uma incidência significativa de determinada doença, pois através deles ações de intervenções mais específicas podem ser realizadas.

Quando se trata da COVID-19, não existe um consenso acerca da modelagem epidemiológica mais adequada para ser utilizada. Dentre as que foram apresentadas nos artigos, encontra-se: SI(R), Rede de Contatos, θ -SEIHRD, SIR juntamente com a transmissão estocástica, SIR associado a *Systems Dynamics* e SIR em conjunto com os aproximantes assintóticos. Essas modelagens contribuíram para evidenciar que o SIR, em muitos casos, por ser simples, tem limitações.

O modelo SIR necessita de adaptações, com a inclusão de alguns outros métodos matemáticos, conforme a necessidade de cada contexto. Dessa forma, a escolha da modelagem epidemiológica mais adequada aos propósitos de reduzir a propagação da patologia, nos futuros trabalhos científicos, deve levar em consideração o grau de complexidade de cada caso analisado.

As limitações da modelagem em questão acabam por exigir a reestruturação dela ou até mesmo a criação de um novo modelo matemático capaz de considerar todos os desdobramentos da doença abordada. Por isso, as adaptações encontradas na literatura são relevantes, tendo em vista que trazem uma nova perspectiva a respeito da análise com relação a evolução da pandemia. Nesse sentido, espera-se que o conhecimento apresentado forneça

novas diretrizes aos profissionais da área de Modelagem e Simulação epidemiológica, aos gestores de saúde, aos pesquisadores da área de estudo do novo coronavírus e as futuras produções científicas, de modo a contribuir na tomada de decisões para o enfrentamento desse urgente problema sanitário.

Referências

Barlow, N. S., & Weinstein, S. J. (2020). Accurate closed-form solution of the SIR epidemic model. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 408. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167278920302694?via%3Dihub>. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2020.132540>.

Barros, L. C., Leite, M. B. F., Oliveira, R. Z. G., & Bassanezi, R. C. (2007). Sobre incertezas em modelos epidemiológicos do tipo SIS. *Biomatemática*, 17, 47–54. Recuperado de http://www.ime.unicamp.br/~biomat/bio17_art5.pdf.

Barros, A. S. (2013). *Dinâmica Estocástica para Modelar o Efeito da Reinfecção em Doenças de Transmissão Direta*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia. Instituto de Física. Salvador. Recuperado de <https://blog.ufba.br/pgif/files/2016/05/D144-IF-UFBA.pdf>.

Bento, A. (2012). Como fazer uma revisão da literatura: considerações teóricas e práticas. *Revista JA (Associação Acadêmica da Universidade da Madeira)*, 65, 42-44,. Recuperado de <http://www3.uma.pt/bento/Repositorio/Revisaodaliteratura.pdf>.

Caetano, M. T. P. (2010). *Modelagem Matemática da Influenza A (H1N1)*. Dissertação (mestrado profissional). Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica - IMECC. Recuperado de http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/307205/1/Caetano_MarcoTulioPeres_M.pdf.

Cao, Z., Zhang, Q., Lu, X., Pfeiffer, D., Jia, Z., Song, H., et al. (2020). Estimating the effective reproduction number of the 2019-nCoV in China. *medRxiv*. Recuperado de <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.01.27.20018952v1>. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.01.27.20018952>.

Cristóvão, R. B. (2015). *Modelo SIR: Uma Aplicação à Hepatite A*. Universidade de São Paulo - USP. Recuperado de <https://www.ime.usp.br/~map/tcc/2015/Rafael%20Belmiro.pdf>.

Echer, I. C. A. (2001). Revisão de literatura na construção do trabalho científico. Porto Alegre: *Revista Gaúcha de Enfermagem*, 22(2), 5-20. Recuperado de <https://seer.ufrgs.br/RevistaGauchadeEnfermagem/article/view/4365>.

Ibarra-Vega, D. (2020). Lockdown, one, two, none, or smart. Modeling containing COVID-19 infection. A conceptual model. *Science of The Total Environment*, 730(15). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720324347?via%3Dihub>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138917>.

InfoGripe. (2020). *Situação da gripe*. Recuperado de <http://info.gripe.fiocruz.br/>.

Ivorra, B., Ferrández, M. R., Vela-Pérez, M., & Ramo, A. M. (2020). Mathematical modeling of the spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) taking into account the undetected infections. The case of China. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 88. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1007570420301350?via%3Dihub>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2020.105303>.

Ivorra, B., Ngom, D., & Ramos, A. M. (2018). *Be-CoDiS (Between-Countries Disease Spread) epidemiological model*. Recuperado de <http://www.mat.ucm.es/~ivorra/softbecodis.htm>.

Karako, K., Song, P., Chen, Y., & Tang, W. (2020). Analysis of COVID-19 infection spread in Japan based on stochastic transition model. *BioScience Trends*, 14(2), 134-138. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32188819/>. doi: <https://doi.org/10.5582/bs.t.2020.01482>.

Kermack, W. O. & McKendrick, A. G. (1932). A contribution to the mathematical theory of epidemics. II. The problem of endemicity. *Proceeding of the Royal Society A*, 138, 55-83. Recuperado de <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rspa.1932.0171>. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1932.0171>.

Lana, R. M., Coelho, F. C., Gomes, M. F. C., Cruz, O. G., Villela, D. A. M., & Codeço, C. T. (2020). Emergência do novo coronavírus (SARS-CoV-2) e o papel de uma vigilância nacional em saúde oportuna e efetiva. *Cadernos de Saúde Pública*, [S.l.], 36(3). Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/csp/v36n3/1678-4464-csp-36-03-e00019620.pdf>. doi: <https://doi.org/10.1590/0102-311x00019620>.

Liu, F., Li, X., & Zhu, G. (2020). Using the contact network model and Metropolis-Hastings sampling to reconstruct the COVID-19 spread on the “Diamond Princess”. *Science Bulletin*, 65, 1297-1305, 2020. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095927320302814?via%3Dihub>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.04.043>.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff J., Altman, D. G., & The Prisma Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The Prisma Statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097. Recuperado de <https://journals.plos.org/plosmedicine/article/file?id=10.1371/journal.pmed.1000097&type=printable>. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.

Organização Pan-Americana de Saúde. (2010). *Módulo de Princípios de Epidemiologia para o Controle de Enfermidades (MOPECE): Controle de doenças na população*. Brasília (DF). Recuperado de http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/modulo_principios_epidemiologia_1.pdf.

Praciano, J. B. A., & Feitosa, R. A. (2020). Science in the final years of elementary school: a systematic literature review. *Research, Society and Development*, 9(6), e121963489. Recuperado de <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3489/3846Research>. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3489>.

Proetti, S. (2017). As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: um estudo comparativo e objetivo. São Paulo: *Revista Lumen*, 2(4). Recuperado de <http://www.periodicos.unifai.edu.br/index.php/lumen/article/view/60>. doi: <http://dx.doi.org/10.32459/revistalumen.v2i4.60>.

Read, M. J., Bridgen, J. R. E., Cummings, D. A. T., Ho, A., & Aewell, C. P. (2020). Novel coronavirus 2019-nCoV: early estimation of epidemiological parameters and epidemic predictions. *medRxiv*. Recuperado de <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.01.23.20018549v2.article-metrics>. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.01.23.20018549>.

Rocchi, E., Peluso, S., Sisti, D., & Carletti, M. A. (2020). Possible Scenario for the COVID-19 Epidemic, Based on the SI(R) Model. *SN Comprehensive Clinical Medicine*, 2, 501–503. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s42399-020-00306-z>. doi: <https://doi.org/10.1007/s42399-020-00306-z>.

Roda, W. C., Varughese, M. B., Han, D., & Li, M. Y. (2020). Why is it difficult to accurately predict the COVID-19 epidemic? *Infectious Disease Modelling*, 5, 271–281. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32289100/>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.03.001>.

Selvati, F. de S., Teixeira, L. G. F., Loureiro, L. H., & Pereira, R. M. da S. (2020). Covid-19 control strategies in Brazil: what does the pandemic teach us?. *Research, Society and Development*, 9(8), e664986293. Recuperado de <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6293/5843>. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6293>.

Silva, A. A. M. (2020). Sobre a possibilidade de interrupção da epidemia pelo coronavírus (COVID-19) com base nas melhores evidências científicas disponíveis. Rio de Janeiro: *Revista brasileira de epidemiologia*, 23, e200021. Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/rbepid/v23/1980-5497-rbepid-23-e200021.pdf>. doi: <https://doi.org/10.1590/1980-549720200021>.

Silva, E. de S. M. e, Ono, B. H. V. S., Souza, J. C., & Menin, I. B. F. (2020). Media and health promotion in times of COVID-19. *Research, Society and Development*, 9(8), e842986252. Recuperado de <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6252>. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6252>.

Tang, Y., & Wang, S. (2020). Mathematic modeling of COVID-19 in the United States. *Emerging Microbes & Infections*, 9, 827–829. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246804272030018X>. doi: <https://doi.org/10.1080/2221751.2020.1760146>.

Tavares, J. N. (2017). Modelo sir em epidemiologia. *Revista de Ciência Elementar*, 5, rce2017–020. Recuperado de <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2017/020/>. doi: <http://doi.org/10.24927/rce2017.020>.

Troyo, G. A. (2013). *Modelo SIR em rede e com parâmetro de infecção que depende periodicamente do tempo*. Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. Recuperado de <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/1372347694.pdf>.

World Health Organization. (2020). *Archived: WHO Timeline - COVID-19*. Recuperado de <https://www.who.int/news-room/detail/27-04-2020-who-timeline---covid-19>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Alisson dos Anjos Santos – 21%

Jamile de Almeida Santos – 17%

Júlia Spínola Ávila – 17%

Maria Carolina Nascimento Carmo – 15%

Nátali de Carvalho Lima – 15%

Helianildes Silva Ferreira – 15%