

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

EMELY FLORES SOARES

**APLICAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA EPIDEMIOLÓGICA
MODELO SUEIHCDR PARA A DOENÇA COVID-19 NA CIDADE DE
SÃO JOSE DOS CAMPOS, SP, BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO STRICTO SENSU**

São José dos Campos, 12/2020

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

EMELY FLORES SOARES

**APLICAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA EPIDEMIOLÓGICA
MODELO SUEIHCDR PARA A DOENÇA COVID-19 NA CIDADE DE
SÃO JOSE DOS CAMPOS, SP, BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientador(a): Prof. Dr. Osmar Pinto Neto

São José dos Campos, 12/2020

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

EMELY FLORES SOARES

APLICAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA EPIDEMIOLÓGICA MODELO SUEIHCDR PARA A DOENÇA COVID-19 NA CIDADE DE SÃO JOSE DOS CAMPOS, SP, BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Prof. Dr. Osmar Pinto Neto

Orientador Mestrado em Engenharia Biomédica
Universidade Anhembi Morumbi

Profa. Dra. Ana Paula Quilici

Universidade Anhembi Morumbi

Profa. Dra. Lívia Helena Moreira da Silva Melo

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Renato Amaro Zângaro (coordenador)

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Rodrigo Alexis Lazo Osório (suplente)

Universidade Anhembi Morumbi

São José dos Campos, 12/2020

EMELY FLORES SOARES

Engenheira Civil, com 10 anos de atuação em instituições de ensino, atualmente, responsável por coordenar laboratórios específicos e espaços de práticas acadêmicas.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca UAM
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S676a

Soares, Emely Flores

Aplicação da Modelagem matemática epidemiológica modelo SUEIHCDR para a doença COVID-19 na cidade de São José dos Campos, SP, Brasil / Emely Flores Soares. - 2020.

47 f. : il.; 30cm.

Orientador: Osmar Pinto Neto.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Anhembi Morumbi, São José Dos Campos, 2020.

Bibliografia: f.43-47

1. Engenharia Biomédica. 2. Modelo Matemático. 3. Pandemia. 4. COVID-19.

CDD 610.28

Aleksandra Oliveira - CRB 8/6302

Dedico este trabalho a Deus, a minha mãe, Célia Flores, meu pai, Júlio Soares e ao meu marido, Jeferson Carlos Reis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de ingressar no mestrado e realizar este trabalho.

Ao meu marido Jeferson Reis, pelo companheirismo, paciência e incentivo para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Célia Flores e Júlio Soares pela criação, amor e por todo o apoio que sempre me deram.

Aos meus três irmãos, Evelin Carol, Eider Júlio e João Rafael por sempre torcerem por mim.

Ao Prof. Dr. Ovidiu Constantin Baltatu e a Profa. Dra. Luciana A. Campos Baltatu por me convidarem a participar do programa de mestrado e por me incentivarem a continuar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Osmar Pinto Neto por me acolher e me dar amparo para concluir esta etapa.

A Profa. Dra. Lívia Helena Moreira da Silva Melo por tão cuidadosamente ter sugerido melhorias para este trabalho.

A profa. Dra. Ana Paula Quilici por todo suporte e apoio durante minha carreira profissional.

Ao Prof. Dr. Renato Amaro Zângaro, coordenador do programa de Mestrado Engenharia Biomédica da Universidade Anhembi Morumbi.

*“Ninguém é digno do oásis se não
aprender a atravessar seus desertos.”*

Augusto Cury

RESUMO

Estudos epidemiológicos normalmente usam modelos compartimentais para definir os estágios susceptível, infectado, e recuperado de uma infecção; embora, modelos mais complexos venham sendo desenvolvidos para examinar fatores adicionais associados a doenças específicas. Por exemplo, inúmeros modelos foram gerados recentemente para investigar o futuro da pandemia da COVID-19 no mundo. Recentemente um modelo SUEIHCDR (Susceptível, Insusceptível, Exposto, Infectado, Hospitalizado, Crítico, Morto e Recuperado) incluindo estágios para enfermaria e unidades de tratamento intensivo foi desenvolvido para investigar o futuro da COVID-19 no Brasil. O objetivo deste trabalho foi aplicar o modelo SUEIHCDR para comparar de forma original cenários futuros relacionados a diferentes níveis de proteção pessoal na dinâmica de transmissão do novo coronavírus SARS-CoV-2 na cidade de São José dos Campos, SP - Brasil. Para ajustar o modelo, dados dos número de casos e mortes, assim como variáveis epidemiológicas relevantes como o tempo médio de internação e tempo médio de ocupação de UTI, foram extraídos dos relatórios epidemiológicos fornecidos pela prefeitura. Foram projetados três cenários futuros em que foi simulado a situação de 5%, 15% e 30% das pessoas que seguiam estritamente as diretrizes de proteção, na data da análise, parassem de se proteger. A análise reportada nesse estudo foi realizada em 15 de outubro de 2020. Os resultados indicaram que se 30% das pessoas pararem de se proteger, isso acarretaria um aumento significativo no número de casos e mortes ainda no ano de 2020. Projeções futuras que levam em consideração o percentual de indivíduos que porventura deixem de se proteger em um determinado momento durante uma pandemia têm grande relevância para tomadas de decisões oficiais. A metodologia apresentada aqui pode ser aplicada para outras regiões.

Palavras-chave: COVID-19, Modelo Matemático, Pandemia, Epidemiologia, Modelo SUEIHCDR.

ABSTRACT

Epidemiological investigations commonly use compartmental models to define the susceptible, infected, and recovered (SIR) stages of infection, while more complex models have been developed to examine additional factors associated with specific diseases. For example, numerous models are being generated to predict the future of the COVID-19 pandemic worldwide. Recently a SUEIHCDR (Susceptible, Unsusceptible, Exposed, Infected, Hospitalized, Critical, Dead, and Recovered) model including a hospitalized infirmary and intensive care unit stages was developed to forecast COVID-19 transmission dynamics in Brazil. This study aimed to apply the SUEIHCDR model to compare different future scenarios related to levels of personal protection in the dynamics of transmission of the new SARS-CoV-2 coronavirus in São José dos Campos, SP - Brazil. To fit the model, data for the number of cases and deaths and relevant epidemiological variables, such as average hospital stay and average ICU occupation time, were extracted from the city hall's epidemiological reports. Three future scenarios were projected considering that either 5%, 15%, or 30% of people strictly following protection guidelines stopped protecting themselves on the day of analyses. This report evaluated data from October 15, 2020. The results indicated that if 30% of people stopped protecting themselves, there would be a significant increase in the number of cases and deaths in 2020. Scenarios' projections that consider the percentage of individuals who might stop protecting themselves midway through a pandemic period can provide relevant information for city officials. This methodology may be applied to other regions.

Keywords: COVID-19, Mathematical Model, Pandemic, Epidemiology, SUEIHCDR Model.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO GERAL	14
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 COVID-19.....	15
3.2 TRANSMISSÃO.....	16
3.3 MANIFESTAÇÕES CLÍNICAS	17
3.4 DIAGNÓSTICO.....	18
3.5 MEDIDAS DE PROVENÇÃO	19
3.6 EPIDEMIOLOGIA	20
3.7 ENDEMIAS.....	20
3.8 EPIDEMIA	21
3.9 PANDEMIA	21
3.10 EPIDEMIOLOGIA E MODELAGEM MATEMÁTICA	21
3.11 MODELO SI.....	22
3.12 MODELO SIS.....	22
3.13 MODELO SIR	23
3.14 MODELO SEIR	23
3.15 MODELO SUEIHCDR.....	25
4. MÉTODOS	27
4.1 MODELO SUEIHCDR.....	27
4.2 COLETA DE DADOS.....	31
4.3 ANÁLISE DE DADOS.....	32
4.4 RESOLUÇÃO E AJUSTE DO MODELO	32
4.5 PROJEÇÕES FUTURAS	33
5. RESULTADOS	34
6. DISCUSSÃO	37

6.1 O PRIMEIRO PICO.....	38
6.2 EVITANDO O SEGUNDO PICO.....	40
7. CONCLUSÃO	42
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: DIAGRAMA COMPARTIMENTAL DO MODELO SI	22
FIGURA 2: DIAGRAMA COMPARTIMENTAL DO MODELO SIS	22
FIGURA 3: DIAGRAMA COMPARTIMENTAL DO MODELO SIR.....	23
FIGURA 4: DIAGRAMA COMPARTIMENTAL DO MODELO SEIR.....	24
FIGURA 5: EQUAÇÕES DO MODELO SEIR.....	24
FIGURA 6: ILUSTRAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MAGNITUDES DE DISTANCIAMENTO SOCIAL E DE PROTEÇÃO – SÃO PAULO.....	26
FIGURA 7: DIAGRAMA COMPARTIMENTAL DO MODELO SUEIHCDR	27
FIGURA 8: MODELO SUEIHCDR.....	28
FIGURA 9: INFORME EPIDEMIOLÓGICO – SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.....	31
FIGURA 10: GOOGLE: RELATÓRIO DE MOBILIDADE DA COMUNIDADE	32
FIGURA 11: TAXA DE MORTALIDADE POR INFECÇÃO	33
FIGURA 12: DISTANCIAMENTO SOCIAL.....	33
FIGURA 13: MODELO SUEIHCDR AJUSTADO PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	34
FIGURA 14: REPRODUÇÃO DIÁRIA DO VÍRUS EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.....	34
FIGURA 15: 5% DA POPULAÇÃO PARA DE SE PROTEGER	35
FIGURA 16: 15% DA POPULAÇÃO PARA DE SE PROTEGER.....	35
FIGURA 17: 30% DA POPULAÇÃO PARA DE SE PROTEGER.....	36

1. INTRODUÇÃO

O novo coronavírus (COVID-19) vêm se espalhando rapidamente desde a origem do seu primeiro surto, em Wuhan, província de Hubei, na China¹. Estimasse que até o dia 30 de novembro de 2020 cerca de 66.974.627 casos foram confirmados em todo o mundo, havendo aproximadamente 1.534.692 de mortes².

O coronavírus são vírus que possuem um genoma de RNA de fita simples de sentido positivo, com o tamanho variando entre 60nm à 130nm de diâmetro, possuem uma característica em sua superfície aparentemente de espigões, uma aparência similar a uma coroa, e por isso, este leva o nome de coronavírus³.

O período de incubação do vírus varia entre 2 a 14 dias^{3,4}. Em humanos causam doenças respiratórias leves e graves, aumentando a necessidade de internações hospitalares e o número de óbitos⁵.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou oficialmente a COVID-19 como pandemia em março de 2020⁶. A maioria dos países, incluindo o Brasil, implementou restrições generalizadas de distanciamento social (DS) para mitigar a disseminação da COVID-19. A partir de modelos atualizados, parece que essas estratégias podem reduzir efetivamente o número de casos e mortes associadas em comparação com as previsões anteriores⁷. No entanto, um relatório do An Imperial College London indicou que as medidas de DS do Brasil não têm sido tão eficazes na redução do seu número de reprodução efetiva (R_t) como em outros países⁸. R_t representa o número médio de casos secundários que resultam da introdução de um único caso infeccioso em uma população suscetível⁹. Em maio de 2020, a estimativa para o estado de São Paulo, foi de 1.4648. Assim, quando o R_t maior que 1 indica que o Brasil não controlou a doença.

Vários fatores podem levar a diferenças nas estratégias de intervenção na infecção por COVID-19, por exemplo, as pesquisas indicaram que os adultos mais velhos (60+) correm o maior risco de sofrer complicações de COVID-19¹⁰. Dado que o Brasil tem uma grande porcentagem de sua população com mais de 60 anos, os casos agravados podem ser particularmente elevados em comparação com locais com população demográfica mais jovem. A maior parte das pesquisas investigando o vírus foram conduzidas em ambientes diferentes do Brasil e outras áreas do hemisfério sul. Além disso, o Brasil enfrenta muitos desafios econômicos e

socioculturais que podem afetar as estratégias de mitigação de forma diferente das cidades, estados e/ou países que são o foco atual da maioria dos modelos de previsão¹⁰.

Dada a alta incidência de infecções e mortes por COVID-19 no Brasil, é fundamental compreender os possíveis comportamentos da doença através da aplicação de modelagem matemática, a fim de prever cenários futuros e fornecer dados aos órgãos públicos para auxiliar no planejamento de medidas de controle com relação ao distanciamento social e medidas de proteção individual contra o coronavírus. Modelos matemáticos compartimentais como SIR e SEIR já foram utilizados para melhor entender o comportamento de doenças como, tuberculose e dengue respectivamente¹¹.

No presente estudo o modelo matemático aplicado foi o SUEIHCDR (Susceptível, Insusceptível, Exposto, Infectado, Hospitalizado, Crítico, Morto e Recuperado) para a cidade de São José dos Campos devido a relevância da cidade pelo fato de ser o quinto município mais populoso do estado de São Paulo, com sua população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 729.737 habitantes¹². O município abriga centros de ensino e pesquisas, como: INPE, UNESP, ITA, UNIFESP, entre outros, o que o torna um importante centro tecnológico junto ao Parque Tecnológico de São José dos Campos, onde está alocado as três maiores fabricantes mundiais de aeronaves, Embraer, Boeing e Airbus^{12,13}.

Além da proximidade com o centro econômico do país, a cidade de São José dos Campos está interligada com as regiões metropolitanas de São Paulo, Campinas, Sorocaba e Baixada Santista. Empresas como Johnson & Johnson, General Motors (GM), Embraer, entre outras, situadas no polo industrial da cidade possibilitam um intenso fluxo de trabalhadores, comerciantes e estudantes entre outras regiões do estado¹⁴.

2. OBJETIVO GERAL

Aplicar o modelo matemático SUEIHCDR proposto na literatura para estudar a propagação da doença Covid-19 na cidade de São José dos Campos e determinar a possibilidade e magnitude de casos ativos na cidade.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Aplicar um modelamento matemático/computacional usando dados epidemiológicos coletados para a cidade de São José dos Campos – São Paulo.
2. Projetar cenários considerando diferentes percentuais de nível de proteção individual e as consequências para o número de casos e mortes diários para a cidade de São José dos Campos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

No início de 2020, sobreveio a notícia do surgimento de um novo vírus, foi chamado inicialmente por 2019-nCoV, foi mencionado pela primeira vez em Wuhan, na província de Hubei, China, as pessoas que foram identificadas com o vírus, estavam expostas em um mercado de frutos do mar e de animais vivos^{1,4}.

3.1 Coronavírus

Existem sete coronavírus conhecidos por infectar a população humana, sendo que, três deles SARS-CoV, MERS-CoV e SARS-CoV-2 são capazes de causar doença grave, e em contrapartida, quatro destes vírus HKU1, NL63, OC43 e 229E estão relacionados a sintomas leves¹⁵. Nas últimas décadas dois desses vírus causaram surtos: SARS-CoV e MERS-CoV¹⁵.

O surto de SARS-CoV, Síndrome Respiratória Aguda Grave, ocorreu na China em 2002 e o coronavírus da Síndrome Respiratória do Oriente Médio MERS-CoV, ocorreu na Arábia Saudita em 2012¹⁶.

Há indicativos da transmissão do animal para o homem nos vírus SARS-CoV e MERS-CoV, nesta forma há necessidade de um hospedeiro intermediário, como civetas de palmeira asiática cujo nome científico é *Paradoxurus hermaphroditus* para SARS-CoV e os camelos cujo nome científico é *Camelus* para MERS-CoV. Em virtude da semelhança genômica entre o SARS-CoV e SARS-CoV-2, cientistas presumem que exista a transmissão de animais para humanos, sendo necessário um hospedeiro intermediário^{17,18}.

Com base na vivência com SARS-CoV e MERS-CoV é provável que a transmissão do novo coronavírus, ocorra em menor intensidade e competência por meio de aerossóis e mais por gotículas. Dessa forma, se torna de extrema importância a implementação de medidas de saúde pública, incluindo a quarentena na comunidade, diagnóstico oportuno e criteriosa adesão às precauções universais nos ambientes de saúde, para amenizar a transmissão do vírus SAR-Cov-2¹⁹.

O novo vírus SARS-CoV-2 determina uma doença respiratória potencialmente grave em alguns indivíduos¹ e após o aumento de casos na China e a disseminação do vírus em outros países com milhares de mortes atribuídas ao novo vírus, a

Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou o surto como sendo uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII)²⁰.

3.2 Transmissão

As evidências com relação ao padrão de transmissão do novo coronavírus ainda não são claras, a transmissão dos outros coronavírus que afetam os humanos ocorre, por via aérea através das gotículas ao falar, tossir, espirrar, secreção nasal, por proximidade como no toque de mãos com outro indivíduo ou com objetos contaminados²¹.

Ainda não foi determinado o tempo de sobrevivência do novo coronavírus em ambientes e objetos e se existe transmissão por objetos contaminados²².

Uma das formas de se estimar a capacidade de transmissão de um vírus é através do cálculo do número reprodutivo (R_0), o que representa uma medida de sua taxa de ataque, ou seja, traduz o número de infecções secundárias que ocorrem a partir de um indivíduo infectado em uma população susceptível. Estudos apontam que o novo coronavírus estaria associado a taxas de R_0 de 1,5 a 3,5, sendo os dados mais recentes sugerindo um R_0 de 4,08, ou seja, para cada caso, em média, haveria quatro novos indivíduos infectados²³.

Para efeito de comparação o R_t do vírus influenza A (H1N1) em 2009 foi de aproximadamente 1,3. Apesar da transmissão intra-uterina da COVID-19 ainda não tenha sido comprovada, existem relatos da transmissão vertical como o caso de uma mãe de 41 anos que testou positivo para COVID-19 que precisou ser submetida a parto cesáreo de emergência onde o bebê também testou positivo para COVID-19²⁴.

O período de incubação estimado do novo coronavírus, é de aproximadamente 5 dias (IC95% de 4,1-7,0 dias), apesar de termos descrições de casos com até 2 semanas desde a infecção até o início dos sintomas²⁵.

Até o dia 30 de novembro de 2020, foram contabilizados 66.974.627 casos e 1.534.692 mortes por COVID-19 em todo o planeta (dados coletados da OMS)²⁰.

3.3 Manifestações Clínicas

O COVID-19 pode acometer indivíduos em duas principais circunstâncias, sendo: portador assintomático e sintomático²⁵. Os primeiros casos de COVID-19, surgiram em sujeitos assintomáticos com diagnóstico laboratorial confirmado, mas essa triagem de assintomáticos por meio de testes moleculares mostrou-se complexa, uma vez que a conduta em casos suspeitos varia em diferentes cidades e países. O desafio se torna ainda maior ao observar o comportamento dos casos pediátricos, pois grande parte desse grupo, são assintomáticos, o que exige um ponto de atenção para evitar a propagação do vírus²⁷.

De acordo com os registros clínicos dos pacientes, no início da pandemia indicaram que os sintomas mais comuns foram: febre, tosse, mialgia e fadiga, com secreção respiratória, dor de cabeça, hemoptise e diarreia^{27,28}. Dispneia e febre alta são sintomas que definem a principal diferença clínica entre a COVID-19 e o resfriado comum, acompanhado de congestão nasal, lacrimejamento, espirros e coriza, e quando comparada com a infecção por Influenza, o COVID-19 demonstrou sintomas clínicos semelhantes, mas com maior proporção de desenvolvimentos para infecções graves e críticas²⁸.

Diferentes estudos mostraram que cerca de 86% dos pacientes não apresentavam gravidade da doença; apenas 14% necessitam de oxigenoterapia em uma unidade hospitalar e menos de 5% desse grupo necessitam de terapia intensiva²⁹. Os pacientes em sua grande maioria progredem com um prognóstico otimista. Em idosos ou indivíduos com comorbidades, como diabetes, doenças cardiovasculares e renais, a doença pode progredir de forma mais agressiva com pneumonia e síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA), disfunção cardíaca, hepática e renal³⁰.

Pacientes com sinais e sintomas como febre alta, taquipneia e dispneia, são indicações clínicas da gravidade exigem maior atenção da equipe médica²⁷. A progressão dos primeiros sintomas de COVID-19 para sepse foi lenta, e o envolvimento extrapulmonar caracterizado principalmente por insuficiência cardíaca refratária e danos nos rins, levando cerca de 25% desses pacientes críticos à terapia renal substitutiva³¹. A acentuada evolução para sepse e choque séptico também foi citado na literatura e pode atingir uma taxa de incidência superior a 50% em pacientes críticos³².

3.4 Diagnóstico

De acordo com o Ministério da Saúde o diagnóstico da COVID-19 é realizado com base em dois principais métodos disponíveis para a realização dos exames específicos, o RT-PCR, os testes rápidos, imunocromatográficos, e os que detectam a resposta imune ao vírus, como os anticorpos³³.

Segundo a OMS, para que o teste da COVID-19, possa ser realizado em um indivíduo, deve haver a suspeita clínica, ou seja, o indivíduo deve apresentar sintomas e fatores epidemiológicos. Sendo assim, são testados, todos aqueles que possuem sintomas de síndrome gripal (SG), e síndrome respiratória aguda grave (SRAG)³⁴.

Caso o paciente se enquadre como suspeito, os profissionais da saúde estão autorizados a realizarem o teste para a COVID-19. Na maioria dos casos, é utilizado o teste molecular RT-PCR (reação em cadeia da polimerase com transcrição reversa). A OMS recomenda que coletem amostras no trato respiratório superior, sendo realizada através da coleta das secreções por meio do swab ou lavagem nasofaríngea e orofaríngea em pacientes ambulatoriais, ou por amostras no trato respiratório inferior escarro ou aspirado endotraqueal, ou lavagem broncoalveolar em pacientes com doença respiratória mais grave. De acordo com a Sociedade Brasileira de Patologia Clínica, a coleta da amostra deve ser realizada, preferencialmente entre o 3º e o 7º dia do início dos sintomas³⁵.

Os exames sorológicos têm como objetivo identificar os anticorpos específicos produzidos pelo corpo humano contra o vírus SARS-CoV-2, ou o antígeno desse vírus. Os testes são executados por ensaios imunoenzimáticos (ELISA) e imunocromatográficos (teste rápido), imunofluorescência (IF) e quimioluminescência (CLIA). O teste sorológico tem por objetivo identificar pacientes com infecção ativa (IgM) ou já expostos ao vírus (IgG)³⁶.

A imunoglobulina do tipo M (IgM) positiva indica a fase inicial da infecção, comumente está presente a partir do 10º dia do início dos sintomas e não indica imunidade sorológica; por outro lado, a imunoglobulina do tipo G (IgG) indica imunidade sorológica presente na etapa ativa da infecção partir do 15º dia de infecção³⁶.

3.5 Medidas de prevenção

O Ministério da Saúde, recomendou medidas preventivas e controle à doença COVID-19, que são fundamentais para evitar e mitigar a propagação do vírus³³. Dentre as medidas preconizadas a serem tomadas destacam-se a lavagem de mãos com água e sabão, e utilização de álcool em gel a 70% para a higienização; fazer a etiqueta ao espirrar onde o sujeito deve cobrir o nariz e a boca com a dobra do braço; evitar tocar o nariz, boca e olhos com as mãos; manter um distanciamento mínimo de dois metros de qualquer pessoa que esteja tossindo ou espirrando, evitar contatos físicos com pessoas e superfícies em ambientes públicos; não realizar o compartilhamento de objetos de uso pessoal; evitar aglomerações, e restringir a circulação em ambientes públicos; em casos de sintomas da doença deve-se evitar de sair de casa; manter estilo de vida saudável através da alimentação e a prática de exercícios físicos³⁷.

Em um contexto pandêmico, é natural que a prioridade seja a saúde física e seguir as medidas de prevenção mencionadas acima, são de extrema importância, contudo, também se faz necessário observar e investigar os impactos na saúde mental da população, pois devido ao distanciamento social, sintomas como ansiedade, estresse e depressão tem sido identificados na população e sobretudo em profissionais da saúde³⁸.

Dentre os estudos relacionados ao impacto na saúde mental devido a COVID-19, destaca-se um estudo com 1.210 integrantes da população da China. O estudo indicou sintomas de ansiedade, estresse e depressão, em 28,8%, 8,1% e 16,5%, respectivamente, ainda revelou que 75,2% dos participantes do estudo tinham medo de que seus familiares adquirissem a doença³⁸.

Com o objetivo de minimizar os impactos psicológicos na população brasileira, uma das ações foi realizada em março de 2020 onde foi publicado no artigo 1º da resolução CFP nº 4/2020, permitindo serviços psicológicos serem prestados através de tecnologia da informação³⁸.

3.6 Epidemiologia e o conceito de endemia, epidemia e pandemia

O termo epidemiologia é de origem grega que significa: Epi = sobre; Demo = população; Logia = estudo, ou seja, ciência das epidemias³⁹, tem como objetivo investigar de forma quantitativa a distribuição dos fenômenos de saúde e doença, com os fatores condicionantes e determinantes nas populações humanas⁴⁰.

O primeiro apontamento da história da epidemiologia foi na Grécia antiga (ano 400 a.C.), quando Hipócrates, em uma pesquisa buscou apresentar explicações para descrever as doenças que relacionou com fatores pessoais⁴¹.

Ter o conhecimento das doenças que afetam a população é de extrema importância para os órgãos e profissionais públicos que exercem o papel de prevenção e assistência à saúde pública. Os estudos epidemiológicos e o processamento de dados provenientes destes estudos, são parâmetros para a idealização e preparação de medidas preventivas de acordo com as necessidades da população, de tal forma que a epidemiologia se torna um instrumento importante para o sistema de saúde⁴².

De acordo com a Associação Internacional de Epidemiologia (IEA)⁴³, existem três principais objetivos da epidemiologia, que são: apresentar a distribuição e a grandeza das dificuldades das populações humanas relacionadas à saúde; investigar e gerar dados eficazes para idealização de estudos das possíveis ações e cumprimento de medidas de prevenção, controle e tratamento das doenças; e elencar as principais medidas de ação identificando as principais causas das doenças.

As ocorrências dos fenômenos nas populações em relação as doenças podem ser classificadas em três tipos: endemia, epidemia e pandemia.

3.7 Endemia

Endemia é determinada como a presença de uma doença em de uma determinada região, que ocorre por um período de tempo indefinido e que mantém uma ocorrência de casos relativamente constantes e sazonais⁴⁴. Como por exemplo: malária, febre amarela e doença de Chagas⁴⁵.

3.8 Epidemia

A Epidemia é determinada como o acontecimento de uma doença em uma região, com um número de casos, que excede o número de casos habituais. Ou seja, é a manifestação de uma doença que se espalha rapidamente até atingir um elevado número de indivíduos em um período definido⁴⁶.

3.9 Pandemia

A pandemia é determinada pelo acontecimento de uma epidemia, porém, que contém grandes extensões geográficas, podendo atingir diversos países e até mesmo diferentes continentes. Como por exemplo: a influenza A (H1N1) no ano de 2009, cujos primeiros casos ocorreram no México, expandindo-se para Europa, América do Sul, América Central, África e Ásia⁴⁶.

3.10 Epidemiologia e modelagem matemática

Os primeiros desenvolvimentos em Epidemiologia Matemática indicaram que foram realizados por Daniel Bernoulli na última metade do século XVIII⁴⁷. Contudo, apenas na metade do século XIX, com o avanço dos conhecimentos médicos sobre as causas das doenças infecciosas, desenvolveram-se teorias matemáticas para fenômenos de larga escala, em contraposição às descrições empíricas⁴⁸.

O modelo matemático epidemiológico tem como objetivo melhor compreender o comportamento de todo o processo de transmissão e propagação de uma doença. Desta forma, a modelagem matemática manifesta uma grande relevância para a área de epidemiologia permitindo um melhor entendimento do desenvolvimento da doença na população avaliando o impacto a fim de sugerir medidas de prevenção, controle e erradicação da doença⁴⁹.

Através dos modelos matemáticos são possíveis as investigações em testar hipóteses que contribuam para a compreensão da propagação das epidemias entre as populações humanas.

Os principais modelos matemáticos utilizados são denominados em SI, SIS, SIR e SEIR.

3.11 Modelo SI

O modelo matemático epidemiológico compartimental SI (Suscetível – Infectado) (Figura 1) é utilizado para estudar doenças onde não há cura ao indivíduo, como por exemplo a Síndrome da Imunodeficiência Humana Adquirida (SIDA) causada pelo vírus da imunodeficiência humana (VIH), nesse caso a população (N) é dividida nessas duas classes, de modo que os indivíduos passam apenas de suscetível a infectado, não retornando a classe de suscetíveis, dado que não se recuperam e não adquirem imunidade, ou seja, os indivíduos permanecem infectados ao longo de sua vida⁵⁰.

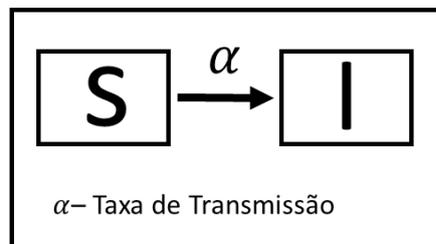


Figura 1: Diagrama compartimental do modelo SI

3.12 Modelo SIS

O modelo SIS (Suscetível – Infectado – Suscetível) (Figura 2) é utilizado para estudar doenças como por exemplo a gripe, a população é dividida em suas classes, sendo, Suscetíveis (S) e infectados (I) onde o indivíduo esta suscetível, uma vez infectados, adquirem a doença, e após a recuperação, pode vir a ser infectado novamente⁵¹.

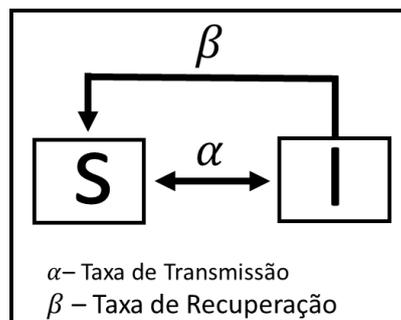


Figura 2: Diagrama compartimental do modelo SIS

3.13 Modelo SIR

O modelo matemático epidemiológico compartmental SIR (suscetível – infetado – recuperado) (Figura 3) é muito utilizado na modelagem da transmissão de doenças infecciosas. Essencialmente, o modelo supõe que um sujeito pode passar consecutivamente por estágios de suscetibilidade, infecção e recuperação ao longo do tempo (t)⁵².

O modelo SIR divide os indivíduos em três classes, sendo: (Suscetíveis) S(t), são os que podem adquirir a doença, (Infetados) I(t), são os que estão doentes e podem disseminar a doença e (Recuperados) R(t), são os que já adquiriram a doença e obtiveram imunidade. Por estarem em função do tempo, ou seja, de uma forma dinâmica, as funções podem ser empregadas, a fim de prevenir prováveis surtos e propor medidas de controle de determinadas doenças em populações humanas específicas⁵³.

Cada indivíduo da população, passa da condição de suscetível (S) para infeccioso (I), e de infeccioso para recuperado (R). As caixas demonstradas na figura 3, simbolizam as diferentes condições e as setas indicam as transições entre as condições. A transição de suscetível (S) para infectado (I) é dependente da taxa de transmissão (β), sendo β a probabilidade de um sujeito suscetível adquirir a doença uma vez ao entrar em contato com um indivíduo infectado, e a transição da condição infectado (I) para recuperado (R), é dependente de (γ) retrata a taxa de recuperação⁵⁴.

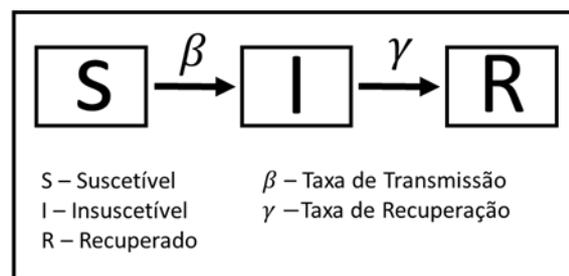


Figura 3: Diagrama compartmental do modelo SIR

3.14 Modelo SEIR

O modelo SEIR é considerado uma extensão do modelo SIR, porém diferentemente deste modelo, o modelo SEIR (Figura 4) possui uma condição Exposto (E) que simboliza a condição de latência (período de incubação). Os

sujeitos nessa condição estão com o agente infeccioso em seu organismo, porém ainda não contraíram os sintomas. Este divide os indivíduos em 4 classes: (Suscetíveis) $S(t)$, são os que podem adquirir a doença, (Expostos) $E(t)$, são os que estão em contato com os infectados, (Infectados) $I(t)$, são os que estão doentes e podem disseminar a doença e (Recuperados) $R(t)$, são os que já adquiriram a doença e obtiveram imunidade⁵⁵.

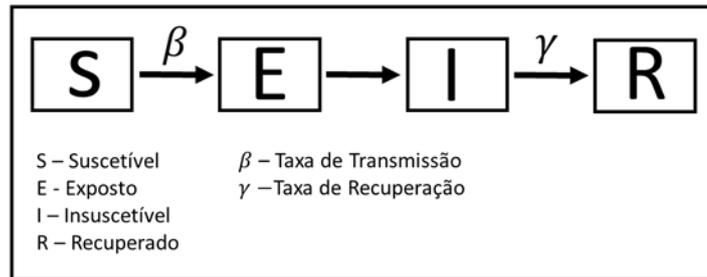


Figura 4: Diagrama compartimental do modelo SEIR

A proporção de indivíduos em cada condição é representada respectivamente pelas equações: a, b, c e d, estão apresentadas na figura 5. Onde β representa a taxa de infecção, γ a taxa de recuperação, μ taxa média de mortes e B taxa média de nascimentos na população⁵⁵.

$$\frac{dS}{dt} = B - \beta SI - \mu S \quad a$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta SI - (\epsilon + \mu)E \quad b$$

$$\frac{dI}{dt} = \epsilon E - (\gamma + \mu)I \quad c$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R \quad d$$

Figura 5: Equações do modelo SEIR

Diversos estudos epidemiológicos foram realizados com a utilização dos modelos matemáticos SIR e SEIR, dentre eles, está a análise do comportamento das doenças como febre amarela, dengue, tuberculose, doença de chagas, sarampo, HIV, dentre outros^{56,57}.

3.15 Modelo SUEIHCDR

O modelo utilizado na presente dissertação é o modelo SUEIHCDR, a descrição matemática do modelo será apresentada nos métodos.

O modelo é uma extensão do modelo SEIR e foi utilizado para analisar fatores específicos para COVID-19, para investigar a pandemia da COVID-19 em São Paulo, Brasil⁵⁸.

O estudo aplicado em São Paulo mostrou como diferentes magnitudes de distanciamento social média (DP) (13, 26 e 52%) e diferentes proporções de pessoas insusceptíveis ou protegidas sobre toda a população (proteção - 65, 60 e 55%) nos resultados do modelo para o estado de São Paulo (Figura 6), mostrou-se a influência do DS em 13% (preto), 26% (vermelho) e 52% (azul) no período de fevereiro de 2020 a dezembro de 2021, como apresentados nos gráficos a seguir (Figura 12). (a) o número de casos por dia (Casos-PD); (b) número estimado de pacientes em Unidade de Terapia Intensiva por dia (UTI-PD); (c) número estimado de pacientes hospitalizados por dia (H-PD); (d) número estimado de mortes acumuladas; (e) número de casos acumulados; (e) e (f) o número de casos recuperados; (g) Curvas de DS de estratégia constante ilustrando as três diferentes magnitudes testadas; (h) razão percentual das pessoas insusceptíveis ou protegidas em toda a população (proteção - Prot (%)) ao longo dos meses distribuídos na população referente ao tempo, dados apresentados nos gráficos (a-f)⁵⁸.

A influência de diferentes níveis de proteção estimados na cidade de São Paulo estão apresentados nos gráficos i-n caracterizando 65% de proteção (linhas pretas), 60% (vermelho) e 55% (azul), como demonstrados em (i) Casos-PD; (j) ICU-PD; (k) H-PD; (l) mortes acumuladas; (m) casos acumulados; (n) casos recuperados; (o) manipulação de DS ao longo do tempo como estratégia de redução; e em (p) os três níveis de proteção testados⁵⁸.

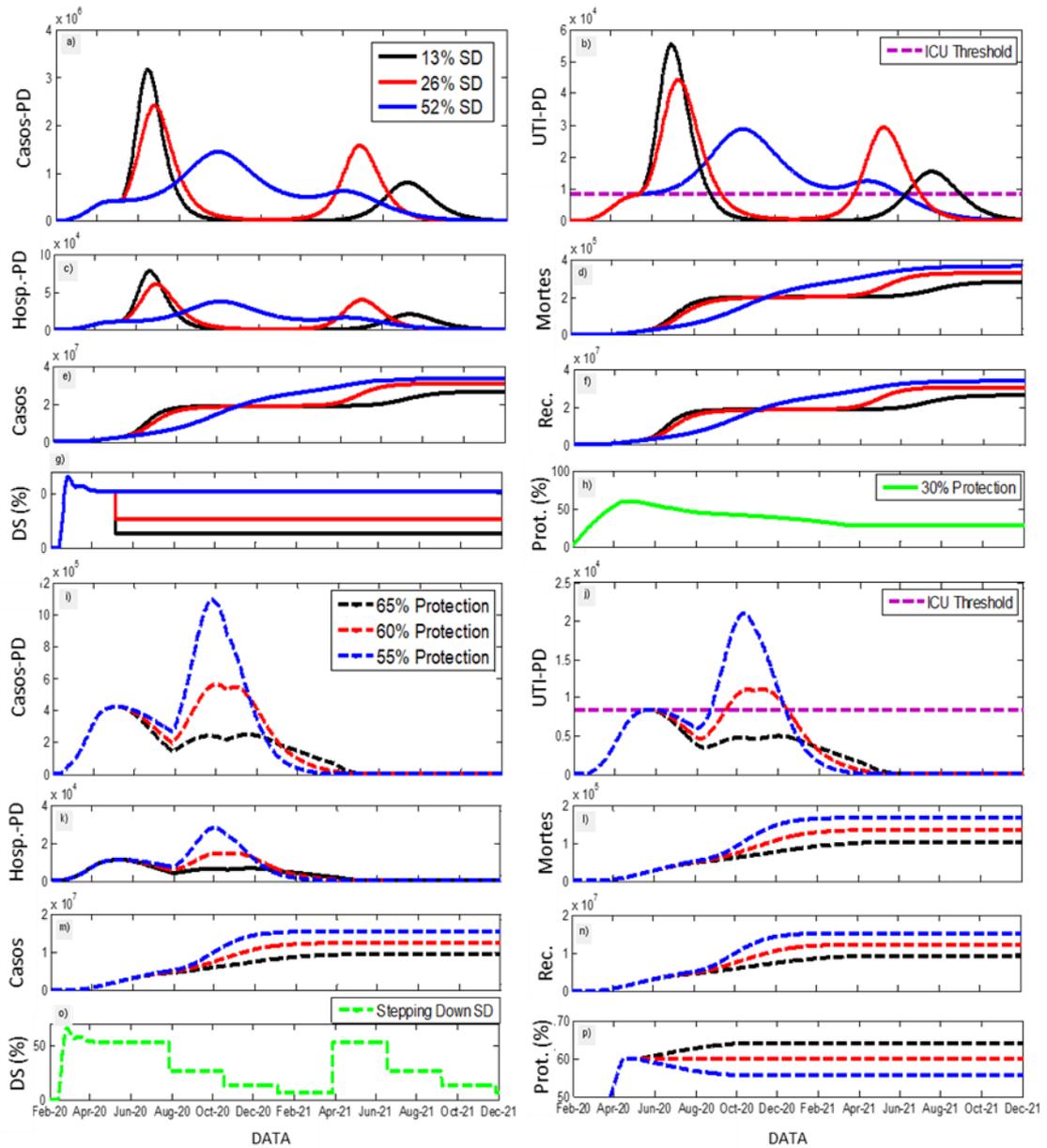


Figura 6: Estado de São Paulo - Ilustração da influência das estratégias de variação do distanciamento social (DS) e diferentes janelas de tempo (40, 60 e 80 dias) nos resultados do modelo para o estado de São Paulo.

4. MÉTODOS

Nesse estudo foi aplicado um modelo matemático epidemiológico para inferir projeções futuras no número de casos e mortes para a cidade de São José dos Campos para os indivíduos acometidos pela COVID-19. Utilizamos o método para realizar três projeções considerando diferentes percentuais de proteção individual.

4.1 O modelo SUEIHCDR

Neste estudo foi utilizado o modelo SUEIHCDR (Figura 6) proposto recentemente⁵⁸ usando dados específicos para COVID-19 em São José dos Campos.

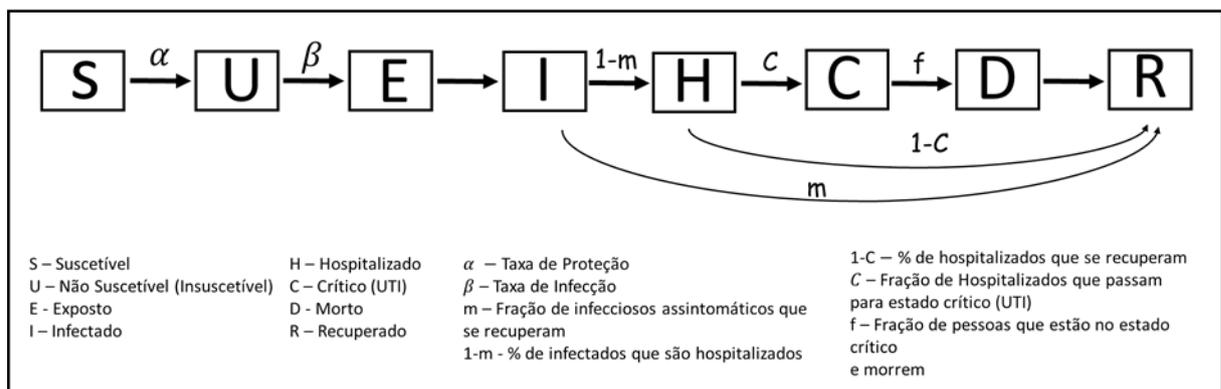


Figura 7: Diagrama compartimental do modelo SUEIHCDR

O modelo (Figura 7) apresenta oito compartimentos: Suscetível, Insuscetível, Exposto, Infectado, Hospitalizado, Crítico, Morto e Recuperado. β é a taxa de infecção, α é uma taxa de proteção, m é a fração de infecciosos que são assintomáticos, $1-m$ é a porcentagem de infectados que serão hospitalizados, $1-c$ é a porcentagem de pessoas hospitalizadas que se recuperaram, c é a fração de hospitalizados que se tornaram casos críticos e necessitam de uma unidade de terapia intensiva (UTI) e f é a fração de pessoas em estado crítico que morreram.

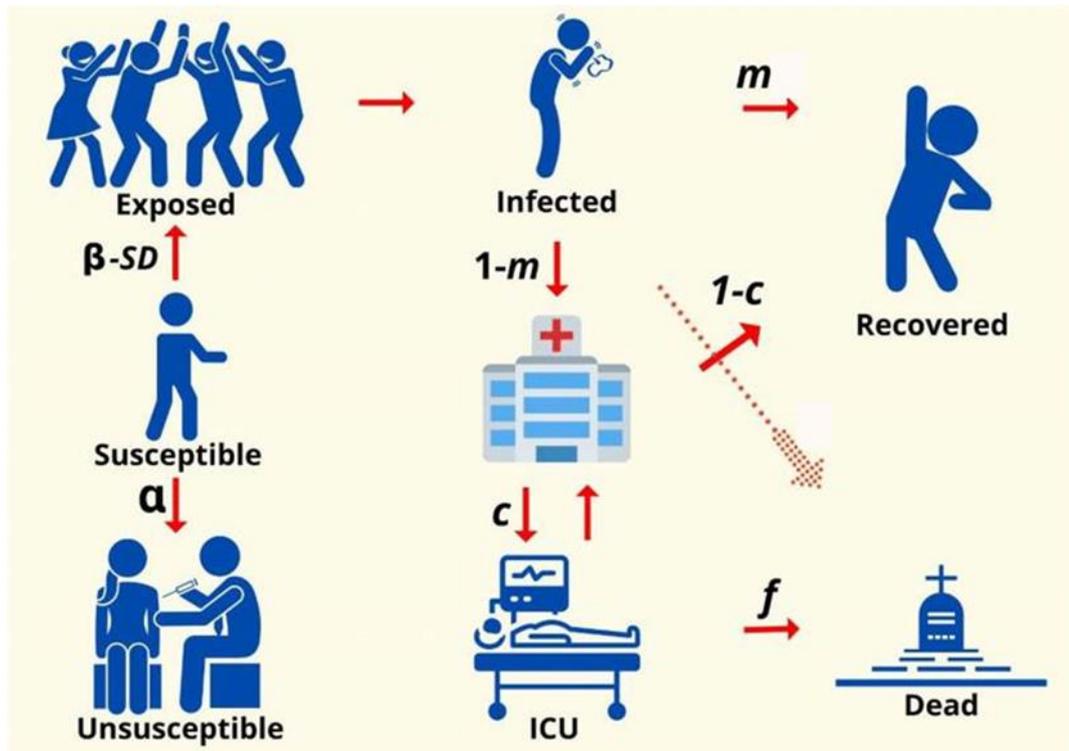


Figura 8: Modelo SUEIHCDR

O modelo SUEIHCDR assume que com o passar do tempo, uma pessoa suscetível fora da população (N) (Equação 1) pode se tornar insuscetível (Equação 2) considerando uma taxa de proteção (α ; (Equação 9) ou exposta (Equação 3) ao vírus considerando o distanciamento social (SD) e uma taxa de infecção (β). Pessoas expostas tornam-se infectadas após um tempo de incubação de $1/\gamma$ (Equação 4). Pessoas infectadas permanecem infectadas por $1/\delta$ e podem se recuperar sem atenção médica (m) ou podem ser hospitalizadas ($1-m$). Pessoas hospitalizadas (Equação 5) permanecem hospitalizadas por $1/\zeta$ (duração em dias em que o paciente permanece no hospital) dias e podem se recuperar ($1-c$) ou tornar-se críticas (c) precisando ir para uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI). Uma pessoa permanece em média $1/\epsilon$ (duração em dias em que o paciente permanece na UTI) na UTI (Equação 6) e podem voltar ao hospital ($1-f$) ou morrer (f) Equação 7). Pessoas recuperadas (Equação 8) podem ser oriundas sem atenção médica (m) ou hospitalar ($1-c$). Por fim, o número de reprodução efetiva R_t (Equação 10) do modelo pode ser estimado como:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{(1 - SD(t))\beta S(t)I(t)}{N} - \alpha(t)S(t) \quad (1)$$

$$\frac{dU(t)}{dt} = \alpha(t)S(t) \quad (2)$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \frac{(1 - SD(t))\beta S(t)I(t)}{N} - \gamma E(t) \quad (3)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \gamma E(t) - \delta I(t) \quad (4)$$

$$\frac{dH(t)}{dt} = (1 - m)\delta I(t) + (1 - f)\varepsilon C(t) - \zeta H(t) \quad (5)$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = c\zeta H(t) - \varepsilon C(t) \quad (6)$$

$$\frac{dD(t)}{dt} = f\varepsilon C(t) \quad (7)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = m\delta I(t) + (1 - c)\zeta H(t) \quad (8)$$

$$\alpha(t) = \alpha_0 \frac{\log(t + 1)}{\log(t_f)} \quad (9)$$

$$R_t(t) = \frac{(1 - SD(t))\beta}{\delta} \left(1 - \frac{\int_0^t \alpha(t)S(t)}{N} \right) \quad (10)$$

TABELA DE LETRAS E SÍMBOLOS	
S	Suscetível
U	Não Suscetível
E	Exposto
I	Infectado
H	Hospitalizado
C	Crítico
D	Morto
R	Recuperado
α	Taxa de Proteção
β	Taxa de Infecção
1-m	% de infectados que são hospitalizados
m	Fração de infecciosos assintomáticos que se recuperam
1-c	% de hospitalizados que se recuperam
c	Fração de hospitalizados que passam para estado crítico
f	Fração de pessoas que estão no estado crítico e morrem
1/ γ	Tempo de incubação
1/ δ	Duração em dias em que o indivíduo passa infectando
1/ ζ	Duração em dias em que o paciente permanece no hospital
1/ ϵ	Duração em dias em que o paciente permanece na UTI

Onde α_0 é o valor máximo ou mínimo possível para uma janela de tempo e t_f é o tempo final da janela. Mudanças em α causam mudanças no número de pessoas não suscetíveis à doença em um determinado momento; exibimos manipulações alfa como a proporção de porcentagem de pessoas insusceptíveis ou protegidas sobre a população da cidade (ou seja, proteção (%)). Ou seja, a insuscetibilidade do modelo explica o estado dependente do tempo de um indivíduo ou comportamento que pode levar alguém da suscetibilidade à insuscetibilidade ou vice-versa. Sendo assim, o Alpha foi otimizado considerando a janela de tempo do início da pandemia até os dias atuais, e aplicado posteriormente com diferentes valores para projetar os possíveis cenários futuros.

O distanciamento social (DS) até os dias atuais foi determinado a partir de dados de tendências de mobilidade da comunidade do Google. Os dados foram filtrados em passa-baixa a 0,09 Hz (Butterworth 4ª ordem) e as alterações percentuais da linha de base foram consideradas (recreação, mercearia e farmácia, parques, estações de trânsito e locais de trabalho com a mudança percentual média

da linha de base). A partir do dia 15 de outubro, o DS foi manipulado em diferentes janelas de tempo para projetar possíveis cenários futuros.

4.2 Coleta de dados

A coleta de dados para o número de casos confirmados, número de internações em enfermaria, número de internações na UTI e óbitos, foram realizadas diariamente através da plataforma da prefeitura municipal da cidade de São José dos Campos pelo Informe Epidemiológico⁵⁹ (Figura 8). Os dados coletados do estudo são referentes ao período do dia 20 de fevereiro até o dia 15 de outubro.


 PREFEITURA
 SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
 INFORME EPIDEMIOLÓGICO
 COMITÊ MUNICIPAL DE PREVENÇÃO E ENFRENTAMENTO AO NOVO CORONAVÍRUS-
 COVID19
 DATA: 30/11/2020 HORÁRIO 16:00

CASOS SUSPEITOS					
INTERNADOS			EM CASA	ÓBITOS	
	UTI	ENFERMARIA	4.019	06	
PUBLICO	7	15			
PRIVADO	1	14			
TOTAL PARCIAL	8	29			
37					
TOTAL GERAL			4.062		
CASOS CONFIRMADOS POSITIVOS					
INTERNADOS			EM CASA		ÓBITOS
	UTI	ENFERMARIA	EM RECUPERAÇÃO	RECUPERADOS	
PUBLICO	8	5	1.088	19.517	493
PRIVADO	17	15			
TOTAL PARCIAL	25	20			
45					
			20.605		
TOTAL GERAL			21.143		

Fonte: Boletim diário hospitalar e de unidades de pronto atendimento: públicos e privados, Sistema de Informação de Mortalidade, Sistemas de notificação e informação do Ministério da Saúde: REDCAP, E-SUS, SIVEP GRIPE e Busca Ativa.

Figura 9: Informe Epidemiológico – São José dos Campos (2020)

Após o acesso às informações do Informe Epidemiológico os dados foram planilhados em Excel (Microsoft Excel 2016).

Os parâmetros para o DS foram obtidos através do Google: Relatório de mobilidade da comunidade (Figura 9).

São José dos Campos



Figura 10: Relatório de mobilidade da comunidade – São José dos Campos

4.3 Análise de dados

Com os dados obtidos da prefeitura de São José dos Campos foram encontradas as variáveis c e f , que correspondem aos indivíduos que passam do hospital para a UTI e os indivíduos que estão na UTI e morrem, respectivamente. As séries temporais de casos diários e óbitos, foram utilizadas para ajustar o modelo aos dados de São José dos Campos e determinar os parâmetros desconhecidos (β , α , γ , δ , ϵ , ζ) por meio otimização.

As séries temporais: varejo e lazer; mercados e farmácias; parques; estações de transporte público, locais de trabalho e residencial, foram filtrados no MATLAB (MathWorks Inc.R14a) e a série temporal média foi utilizada como entrada dos dados para o modelo.

4.4 Resolução e ajuste do modelo

A resolução do modelo foi feita através do método numérico de Runge-Kutta de quarta ordem para resolver o sistema de equações diferenciais ordinárias no MATLAB (MathWorks Inc.R14a)^{58,60}. Para o ajuste do modelo utilizado os dados de casos ativos foram corrigidos devido a subnotificação. Considerou-se os dados de

mortes como fidedignos e a taxa de 0,46% para o estado de São Paulo⁶¹, resultando num fator de correção de 4,99 para a cidade de São José dos Campos (Figura 10).

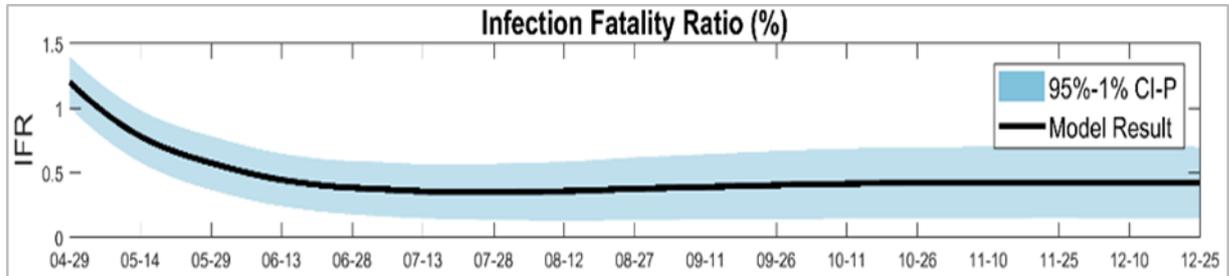


Figura 11: Taxa de mortalidade por infecção

4.5 Projeções Futuras

Cenários futuros consideraram mudanças no DS e proteção a partir de 15 de outubro de 2020 em São José dos Campos. Para o DS considerou-se que continuasse em queda na mesma proporção que estava caindo nos últimos 30 dias e obtendo estabilidade a partir do dia 10 de novembro de 2020 (Figura 11).

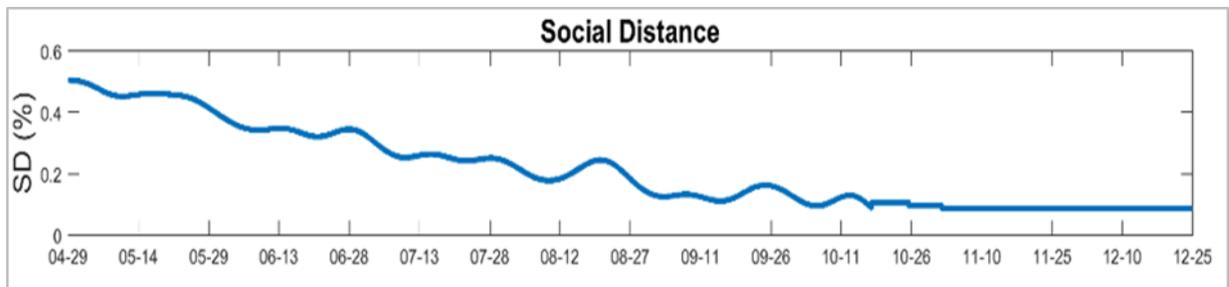


Figura 12: Distanciamento Social

Para a proteção foi manipulado o valor de alfa de forma a projetar três cenários que consistiu no percentual em que a população que já estava se protegendo parasse de se proteger em 0-5%, 15% e 30%.

5. RESULTADOS

O modelo matemático SUEIHCDR foi ajustado com precisão a média diária corrigida de sete dias consecutivos de casos positivos e de mortes para a cidade de São José dos Campos (Figura 13).

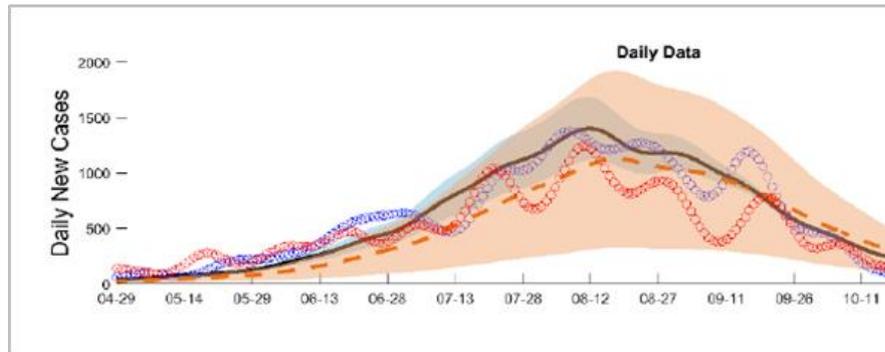


Figura 13: Modelo SUEIHCDR ajustado para a cidade de São José dos Campos

A proporção de pessoas insusceptíveis ou protegidas sobre toda a população no dia da análise (15 de outubro) foi de 50% para a população da cidade de São José dos Campos, pois o R_t foi de 1,1 (fig.14); a taxa de mortalidade por infecção (IFR) foi de 0,46% (fig. 10), taxa de ataque foi de 3,5%, o período latente foi de 1,0 dia, período infeccioso foi de 14,4 dias, o período de hospitalização foi de 4 dias e o período de permanência na UTI foi de 10 dias.

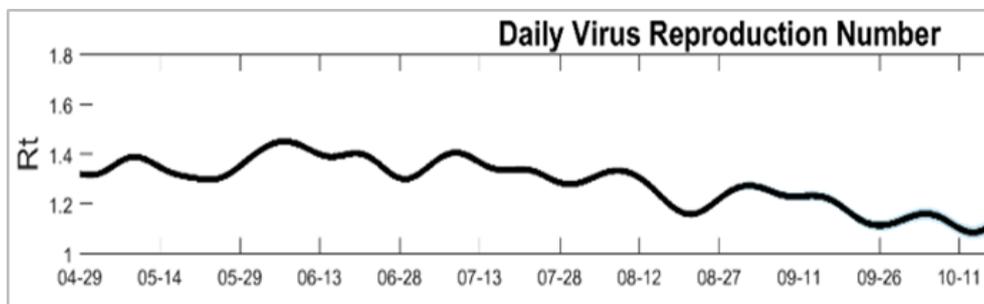


Figura 14: Reprodução diária do vírus na cidade de São José dos Campos

No primeiro cenário projetado, em que 0-5 % da população que já estavam tomando medidas de proteção, caso parassem de se proteger, observou-se a queda no número de casos e mortes, chegando a uma estabilização do dia 30 de outubro ao dia 10 de dezembro. A partir do dia 11 de dezembro, nota-se uma leve tendência no aumento do número de casos e mortes, dessa forma, um possível segundo pico, ocorreria apenas no ano de 2021.

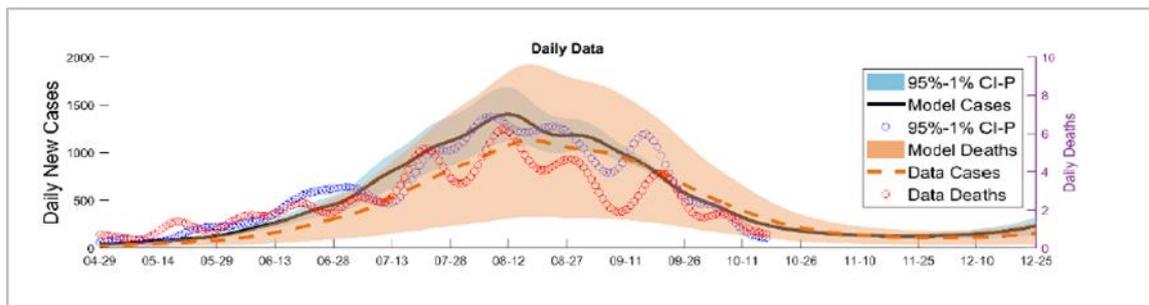


Figura 15: Modelo matemático projetando 5% da população de São José dos Campos sem utilizar as medidas de proteção contra a doença COVID-19

No segundo cenário projetado, onde 15% da população que já estavam tomando medidas de proteção, parasse de se proteger, observou-se a queda no número de casos e mortes, chegando a uma estabilização do dia 15 de outubro ao dia 10 de novembro. A partir do dia 11 de novembro, nota-se uma tendência no aumento do número de casos e mortes, porém, nessa projeção, um possível segundo pico, ocorreria também apenas no ano de 2021.

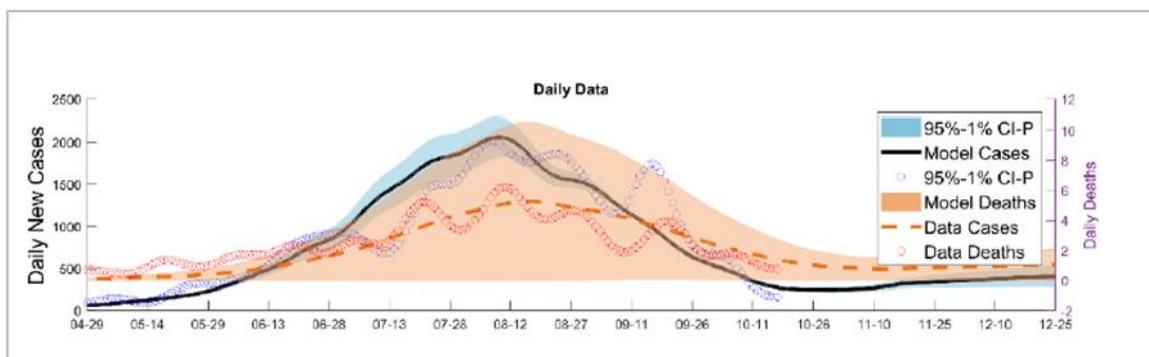


Figura 16: Modelo matemático projetando 15% da população de São José dos Campos sem utilizar as medidas de proteção contra a doença COVID-19

No terceiro cenário projetado onde 30% da população que já estavam tomando medidas de proteção, e parasse de se proteger, observou-se a queda no número de casos e mortes, chegando a uma estabilização do dia 20 de outubro ao dia 05 de novembro. A partir do dia 06 de novembro, nota-se um aumento significativo número de casos e mortes, nesse cenário, um possível segundo pico, ocorreria também apenas no ano de 2021, porém, um aumento significativo no número de casos e mortes já seria visto em dezembro de 2020.

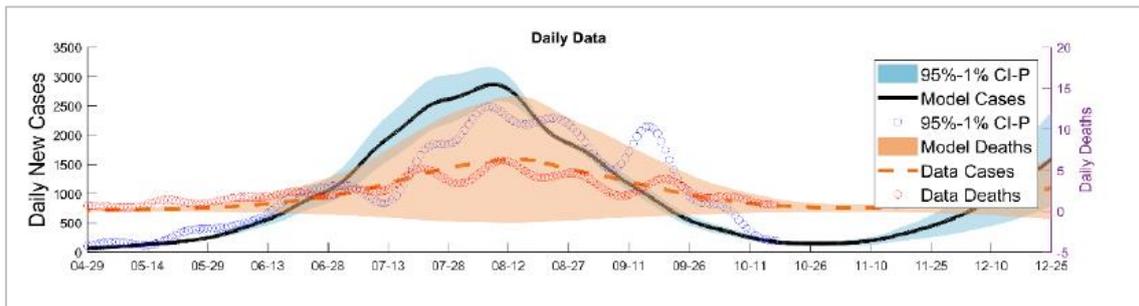


Figura 17: Modelo matemático projetando 30% da população de São José dos Campos sem utilizar as medidas de proteção contra a doença COVID-19

6. DISCUSSÃO

Para este estudo, na cidade de São José dos Campos, foi utilizado o modelo compartimental SUEIHCDR a fim de projetar cenários para um possível segundo pico da transmissão do COVID-19 na cidade para os próximos meses. Através de manipulações do parâmetro alfa do modelo e supondo um declínio constante no distanciamento social, projetamos cenários onde 5%, 15% e 30% das pessoas que estavam se protegendo, parassem de se proteger. Os principais resultados apontaram que se até 30% das pessoas pararem de se proteger, teremos um segundo pico de casos apenas no ano de 2021, porém, se 30% ou mais pararem de se proteger, teremos um aumento significativo no número de casos e mortes ainda em 2020.

O modelo matemático SUEIHCDR é uma extensão dos modelos SIR e SEIR, na qual foram utilizados diversos estudos em doenças como por exemplo, tuberculose e dengue^{56,57}.

O modelo SIR já foi utilizado em um estudo realizado na cidade de Codó, estado do Maranhão, para os altos índices de predominância da tuberculose na região⁵⁶. Neste modelo a população foi dividida em três classes: Suscetível, Infectado e Recuperado, com as mesmas variáveis propostos para este trabalho.

Se $R_t > 1$, existirá uma epidemia e se $R_t < 1$, a doença estará prosseguindo para a extinção⁶². No estudo para a tuberculose obteve-se o valor para $R_t = 0,0076$, ou seja, a doença está indo lentamente para a extinção com possibilidade de ser extinta em 2057, conforme modelo aplicado. Os parâmetros para α , β e μ , foram obtidos através dos dados de casos confirmados da doença, fornecidos pelo Sistema de Informação de Agravos de Notificação e os dados da população da cidade, foram obtidos pelo IBGE⁶³. Quanto ao modelo SIR, foi possível observar que o número de infectados está decrescendo, devido ao R_t ser < 1 , o que demonstra que a doença está sendo erradicada, ainda que de uma forma lenta. Já no estudo para COVID-19, o R_t resultou em 1,1, o que significa que a doença ainda não está prosseguindo para a extinção.

O modelo SEIR foi utilizado para um estudo realizado na cidade de Três Lagoas, estado do Mato Grosso do Sul, com a doença viral dengue especialmente em períodos de chuva⁵⁷. No modelo, a população foi dividida em quatro classes, sendo suscetível, exposto, infectado e recuperado. Foi analisado, levando em conta que a

propagação da doença de uma forma rápida, porém, uma vez identificado a necessidade de explorar a persistência da doença ao longo do tempo, caracterizando a endemia, foi preciso levar em conta os processos demográficos⁵⁷. Neste estudo foi analisado o período do ano no qual houvesse chuvas mais intensas a fim de demonstrar o grau de avanço da doença, os resultados da análise demonstraram que a transmissão da dengue pode ser forma rápida no entretanto o estudo também apontou a importância do controle do vetor *Aedes aegypti* como alternativa para conter a proliferação da doença no município estudado⁵⁷.

Diferentemente dos modelos SIR e SEIR, o modelo SUEIHCDR apresenta um maior número de compartimentos o que permite investigar outras variáveis da doença, como por exemplo, a duração em dias em que o paciente permanece no hospital, a porcentagem de pessoas que vão para a Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e a duração em que permanecem na UTI.

6.1 O primeiro pico

Ainda não foi possível afirmar se saímos ou não da primeira fase da doença, porém, de acordo com os gráficos apresentados, é possível afirmar que houve um pico onde passamos por muitos casos e mortes no mês de agosto de 2020 e os números foram decrescendo até o período de 15 de outubro.

Dados de todo o mundo (por exemplo, Ásia, Europa e América do Norte) indicam que foi possível mitigar a disseminação de COVID-19 com medidas generalizadas de distanciamento social (DS) e Medidas de Proteção Pessoal (MPP). No entanto, para a cidade de São José dos Campos, a análise de dados de localização indicou que o nível atual de DS foi de apenas 15% e os valores de proteção atuais são 50-55%.

O modelo indicou que os valores atuais de DS e proteção são suficientes para controlar a pandemia, entretanto, se mais do que 15% das pessoas deixarem de se proteger de forma rigorosa ou o número de pessoas protegidas caia, é possível que ocorra um segundo pico da doença que terão consequências terríveis no número geral de infecções e mortes associadas. O uso generalizado de MPP (por exemplo, usar máscaras, lavar as mãos com frequência, usar desinfetante para as mãos, manter uma distância física entre as pessoas e evitar aglomerações) são medidas eficazes e

as altas taxas de testes foram enfatizados para mitigar a disseminação de COVID-19 além de DS⁶⁴.

O modelo indica que aumentar a porcentagem de pessoas que seguem estritamente as diretrizes de MPP para 65-70% na cidade de São José dos Campos em combinação com DS são necessários para conter o pico simultâneo em infecções e mortes associadas, estimou-se que a eficácia do uso de máscaras faciais varia entre 50 a 90%, dependendo do material da máscara e do encaixe ao rosto⁶⁵.

Alguns países se destacaram em terem um baixo número de casos e de mortes, como exemplo, Taiwan, com densidade populacional de 23,57 milhões e com área territorial de 36.193 km². Dados de 14 de dezembro de 2020 mostram um total de 740 casos, sendo 127 casos ativos e um total de 7 mortes no país². Neste sentido o país tomou rápidas medidas contra a COVID-19, determinando que todos os contatos próximos de casos confirmados fossem colocados em quarentena em casa por 14 dias⁶⁶. O Centros de Controle de Doenças (CDC) de Taiwan disponibilizou dados de civis para serem monitorados através de um sistema de inteligência “Intelligent Electronic Fence System (IEFS)”, os indivíduos que estivessem em quarentena, receberiam avisos como mensagem de texto, caso excedessem os limites de suas residência^{67,68,69}, com o cancelamento de todas as atividades que gerassem aglomerações^{68,70}. Além do adiamento das aulas e locais de comércio que foram fechados, na retomada das aulas foi disponibilizado máscaras como meio de proteção individual⁷¹, além da divulgação realizada pelo Centro de Comando Central de Epidemias, contendo mensagens para a população sobre higiene, lavagem das mãos e orientações sobre a etiqueta para tosse⁷².

Outro país que se destacou na contenção da COVID-19 foi a Nova Zelândia, com densidade populacional de 4,886 milhões e área territorial de 268.021 km². Dados extraídos do Worldometer² em 14 de dezembro de 2020 revelaram que o país teve 2096 casos, sendo 56 ativos e com 25 mortes. Uma das estratégias utilizadas pelo país, foi realizar a triagem e quarentena de indivíduos com origem de países específicos da China continental, Hong Kong, Japão, Cingapura e Tailândia que foram avaliadas nos aeroportos por equipes da saúde. A Nova Zelândia declarou o fechamento das fronteiras no começo do ano para qualquer indivíduo que não fosse cidadão ou residente permanente⁷³, reduzindo a movimentação das pessoas em alguns locais públicos com restrições de estradas e postos de controle com o apoio policial⁷⁴. Ainda no mês de março, escolas foram fechadas e locais de trabalho não

essenciais também foram fechados, apenas os locais essenciais como, hospitais, farmácias e supermercados, tiveram a possibilidade de se manterem abertos, desde que obedecessem às medidas de prevenção como o distanciamento social⁷⁵. O ministério da saúde também divulgou mensagens com relação a proteção individual e a orientação para a população permanecer em casa sempre que possível⁷⁶.

No Brasil, foi confirmado o primeiro caso da doença COVID-19 em 26 de fevereiro de 2020 na cidade de São Paulo. Depois de um mês, todos os estados brasileiros já haviam comunicado casos da doença⁷⁷. As primeiras medidas de distanciamento social introduzidas no Brasil foram no Distrito Federal, na primeira quinzena de março, e nos demais estados, a maioria das medidas foram introduzidas na segunda quinzena de março⁷⁸. Dentre os estados brasileiros, houveram variações quanto à aplicação das medidas de proteção, o estado do Mato Grosso do Sul, por exemplo, implementou as medidas de distanciamento social, como suspensão de eventos, de aulas e quarentena, de forma precoce, antes do 1º caso, em contrapartida, o estado de São Paulo, implementou essas medidas de forma tardia, entre o 11º e 50º caso⁷⁷. Porém, de forma geral, quando comparamos o Brasil e os países, Taiwan e Nova Zelândia, é possível notar que as medidas de proteção no território brasileiro, foram tardias. No entanto, alguns fatores como, densidade populacional e área territorial, foram fatores que podem explicar esse retardo, a população de Taiwan representa aproximadamente 11% da população brasileira, e o território representa 0,43% do território brasileiro, já a Nova Zelândia, representa aproximadamente 2,33% e 3,15% da população e território brasileiro, respectivamente².

6.2 Evitando um segundo pico

Se o Brasil efetivamente reduzir R_t abaixo de 1 com DS e MPP, medidas que visam reduzir a probabilidade de um segundo pico, ainda é possível evitar um segundo pico. Nesse estudo, entretanto, mostramos que para evitar um segundo pico na cidade de São José dos Campos, ambos valores de DS e MPP deveriam permanecer sem decréscimo. O modelo indicou que se o DS e as MPP forem interrompidos muito cedo ou reduzidos precocemente após o primeiro pico de contenção ocorrerá o segundo pico de infecções e mortes associadas em breve.

Muitos especialistas concordam que uma nova curva, secundária será provável se as restrições de DS forem suspensas muito rapidamente^{18,19}. Portanto,

determinar quando e como relaxar as restrições se tornou o foco do trabalho epidemiológico em todo o mundo. Infelizmente, as diretrizes são difíceis de alcançar no Brasil, considerando a pressão econômica para a reabertura e que os esforços para testarem a população ainda não são suficientes²⁰. O Brasil é o que menos realiza testes COVID-19 per capita no mundo²⁰. A falta de dados para rastreamento de contatos no país sugere que os esforços podem ser insuficientes e que novos estudos sobre a eficácia de tais medidas devem ser realizados. Entretanto, se o número de infecções reduzirem para um nível mais gerenciável, haveria um maior percentual de pessoas que realizariam os testes e o rastreamento de contágio podem melhorar substancialmente. Uma vez que, altos níveis de DS estão associados a muitas consequências econômicas e psicológicas, estratégias que podem reduzir a magnitude de DS ao longo do tempo, mantendo o controle da pandemia, são de grande importância para a saúde global.

7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos sugerem que o modelo matemático SUEIHCDR utilizado neste estudo para realizar projeções de cenários levando em consideração o percentual de indivíduos que param de se proteger, foi capaz de realizar previsões com relação aos números, de casos e de mortes para a doença COVID-19 para a cidade de São José dos Campos. Os principais resultados apontaram que se até 30% das pessoas pararem de se proteger, teremos um segundo pico de casos apenas no ano de 2021, porém, se 30% ou mais pararem de se proteger, teremos um aumento significativo no número de casos e mortes ainda em 2020. Sugere também, que é possível reduzir o distanciamento social ao longo do tempo se as pessoas se engajarem em altos níveis de proteção, como o uso de máscaras faciais, higiene adequada das mãos e evitar aglomerações. Esse comportamento pode ser a estratégia mais eficaz no combate à pandemia da COVID-19, especialmente em países com recursos limitados de saúde pública.

Embora nossa análise tenha se concentrado na cidade de São José dos Campos, é importante observar que o modelo matemático poderá modelar em outras localidades. Os resultados da investigação atual são de importância global.

Para trabalhos futuros o modelo matemático testado poderá ser aplicado em outras realidades diferentes do Brasil, como ser aplicado em outras doenças com importância epidemiológica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zhu N,Zhang D,Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med* [Internet]. 2020 Feb [cited 2020 Mar 4];382:727-33
2. Worldometer. COVID-19 Coronavirus Pandemic [Internet]. 2020. Available from: Available from: <https://www.worldometers.info/coronavirus>.
3. Schoeman D, Fielding BC. Coronavirus envelope protein: current knowledge. *Virology Journal*. 2019; 16: 69
4. Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. *N Engl J Med*. 2020;382(13):1199-207.
5. Guan WJ, Ni ZY, Hu Y, Liang WH, Ou CQ , He JX, Liu L, Shan H , Lei CL, Hui DSC, Du B , Li LJ, Zeng G , Yuen KY, Chen RC , Tang CL, Wang T, Chen PY, Xiang J, Li SY, Wang JL, Liang ZJ, Peng YX, Wei L, Liu Y, Hu YH, Peng P, Wang JM, Liu JY, Chen Z , Li G, Zheng ZJ , Qiu SQ, Luo J, Ye CJ, Zhu SY, Zhong NS; China Medical Treatment Expert Group for Covid-19. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med*. 2020;382(18):1708-20.
6. World Health Organization *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Situation Report 70* (2020);
7. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). *COVID-19 Projections* (2020);
8. Mellan, T.A., et al. Report 21: *Estimating COVID-19 Cases and Reproduction Number in Brazil* (Imperial College, 2020);
9. Anastassopoulou, C., Russo, L., Tsakris, A., & Siettos, C. Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak. *Plos One* 15(3), e0230405 (2020).
10. Li, X., et al. Risk factor for severity and mortality in adult COVID-19 inpatients in Wuhan. *J Allergy Clin Immunol* (2020);
11. Brauer, F., Castillo-Chavez, P. W. D., Wu, J., Allen, L. J. S., *Mathematical epidemiology*, pp. 19 – 81. 1945.
12. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1 de Julho de 2020).
13. Henrique Macedo (25 de Maio de 2016). «Fusão transforma Parque Tecnológico de São José no maior do país». Consultado em 15 de Outubro de 2017;
14. Fusão de PqTec e CECOMPI amplia o polo de inovação de São José». Prefeitura Municipal de São José dos Campos. 24 de Maio de 2016. Consultado em 15 de Outubro de 2017.
15. Corman, VM, Muth, D., Niemeyer, D. & Drosten, C. *Adv. Virus Res.* 100 , 163–188 (2018).

16. Hui DS, Memish ZA, Zumla A. Severe acute respiratory syndrome vs. the Middle East respiratory syndrome. *Curr Opin Pulm Med*. 2014;20(3):233–241.
17. Yuen K-S, Ye Z-W, Fung S-Y, Chan C-P, Jin D-Y. SARS-CoV-2 and COVID-19: The most important research questions. *Cell Biosci*. 2020;10(1):1–5.
18. Zhang T, Wu Q, Zhang Z. Probable pangolin origin of SARS-CoV-2 associated with the COVID-19 outbreak. *Curr Biol*. 2020.
19. Wan Y, Shang J, Graham R, Baric RS, Li F. Receptor Recognition by the Novel Coronavirus from Wuhan: an Analysis Based on Decade-Long Structural Studies of SARS Coronavirus. *J Virol*. 2020;94(7).
20. OMS – Organização Mundial da Saúde (2020). Disponível em: <<https://www.who.int/eportuguese/countries/bra/pt/>>
21. Riou, Julien, and Christian L Althaus. "Pattern of early human-to-human transmission of Wuhan 2019 novel coronavirus (2019-nCoV), December 2019 to January 2020."
22. Lotfi M, Hamblin MR, Rezaei N. COVID-19: Transmissão, prevenção e oportunidades terapêuticas potenciais. *Clin Chim Acta*. 2020; 508 : 254–266.
23. Cao Z, Zhang O, Lu X et al. Estimating the effective reproduction number of the 2019- nCoV in China. *MedRxiv* 2020.
24. Parsa Y, Shokri N, Jahedbozorgan T, Naeiji Z, Zadehmodares S, Moridi A. Possible Vertical Transmission of COVID-19 to the Newborn; a Case Report. *Arch Acad Emerg Med*. 2020 Nov 14;9(1):e5. PMID: 33313572; PMCID: PMC7720854.
25. National Recommendations for Diagnosis and Treatment of pneumonia caused by 2019-nCoV (the 4th edition). National Health Commission and National Administrative Office of Chinese Tradition Medicine.
26. DAY M. Covid-19: identifying and isolating asymptomatic people helped eliminate virus in Italian village. *BMJ*, v.368, p. m1165, 2020.
27. Organização Pan Americana de Saúde (OPAS). Folha informativa – COVID-19 (doença causada pelo novo coronavírus). 2020. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/brasil>.
28. Boletim epidemiológico no. 5. Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde. Boletim Epidemiológico – COE COVID-19, 13/03/2020.
29. World Health Organization (WHO). Clinical management of severe acute respiratory infection when COVID-19 is suspected. Reference: interim guidance, 13 March 2020.
30. Guo Y, Cao Q, Hong Z, et al. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak – an update on the status. *Military Med Res*. 2020, 7: 11. DOI: 10.1186/s40779-020-00240-0.
31. Yang X, Yu Y, Xu J, et al. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a singlecentered, retrospective, observational study. *Lancet*. 2020. Publicação online 21 fevereiro. DOI: 10.1016/S2213-2600(20)30079-5.
32. Zhou F, Yu T, Du R, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort

- study. [published online ahead of print, 2020 Mar 9]. *Lancet*. 2020; 395: 1054-62. DOI: 10.1016/ S0140-6736(20)30566-3.
33. Ministério da Saúde: <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#como-se-proteger>.
 34. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Laboratory testing for 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) in suspected human cases.
 35. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Laboratory testing strategy recommendations for COVID-19: interim guidance. 21 mar. 2020.
 36. Mendoza L., Kaufman L. & Mandy W.G.R. 1997. Serodiagnosis of human and animal pythiosis using an enzyme-linked immunosorbent assay.
 37. SOUNIS, Emílio. *Epidemiologia geral* 2 v. PR, Editora da Fundação da Universidade do Paraná; SP, Atheneu, 1985, V 1 p.5.
 38. Brooks, S. K., Webster, R. K., Smith, L. E., Woodland, L., Wessely, S., Greenberg, N., & Rubin, G. J. (2020). The psychological impact of quarantine and how to reduce it: Rapid review of the evidence. *The Lancet*, 395(10227), 912-920.
 39. Conselho Federal de Psicologia (2020a). Resolução nº4, de 26 de março de 2020. Recuperado em março 30, 2020.
 40. Rouquayrol MZ, Almeida Filho N. *Epidemiologia e Saúde*. BR, Rio de Janeiro: MEDSI, 2003.
 41. Gordis, L. (2008). *Epidemiology* (4th ed.). Philadelphia: Elviesier Saunders.
 42. PEREIRA, Maurício Gomes. *Epidemiologia: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995.
 43. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Epidemiologia: Guia de Métodos de Enseñanza*. Washington, DC, 1973.
 44. PEREIRA, M. G. *Epidemiologia: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
 45. MEDRONHO, R. A. et al. *Epidemiologia*. São Paulo: Editora Ateneu, 2009.
 46. RIBEIRO, M. C. S. *Epidemiologia descritiva*. In: ALEXANDRE, L. B. S.P. *Epidemiologia aplicada nos serviços de saúde*. São Paulo: Martinari, 2012.
 47. E. A. Waldman and T. E. da Costa Rosa. *Vigilância em saúde pública*, volume 7. Universidade de Sao Paulo. Faculdade de Saude Publica, 1998.
 48. N. T. Bailey et al. *The mathematical theory of infectious diseases and its applications*. Charles Griffin & Company Ltd, 5a Crendon Street, High Wycombe, Bucks HP13 6LE., 1975.
 49. Britton, N. F., *Essential Mathematical Biology*, pp. 83 - 116. 2003.
 50. Banerjee, S. (2016). Analysis of fractional order sis epidemic model with constant recruitment rate and variable population size. *ASIO Journal of Chemistry, Physics, Mathematics & Applied Sciences (ASIO-JCPMAS)*, 1(2), 1–4.
 51. Greenhalgh, Liang, & Mao, 2016; Oliveira, 2008; Ottaviano, S., Pellegrini, F., Bonaccorsi, S. & Van Mieghem, 2016.
 52. Brauer, F., Driessche, P. W. D., Wu, J., Allen, L. J. S., *Mathematical epidemiology*, pp. 19 – 81. 1945.
 53. WEISSTEIN, E. W. *SIR Model*. 2010.

54. Padua RN, Tulang AB (2 de dezembro de 2010). "Um modelo epidemiológico dependente da densidade para a propagação de doenças infecciosas".
55. Rhodes, C. J., Jensen, H. J., Anderson, R. M., On the critical behaviour of simple epidemics. *The Royal Society*. vol. 264, pp. 1639-1646. 1997.
56. MARCOLINO, Raimundo dos Santos. Modelos matemáticos epidemiológicos da tuberculose em Codó-MA. 2016. 1 recurso online (107 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática Estatística e Computação Científica, Campinas, SP.
57. DONALÍSIO, M.R.; GLASSER, C.M. Vigilância entomológica e controle de vetores da dengue. *Rev. Bras. Epidemiol.* vol. 5, n.3, 2002.
58. Pinto Neto, O., Kennedy, D.M., Reis, J.C. et al. Mathematical model of COVID-19 intervention scenarios for São Paulo—Brazil. *Nat Commun* 12, 418 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20687-y>
59. Prefeitura de São José dos Campos – Informe Epidemiológico, 2020. Disponível em: <<https://www.sjc.sp.gov.br/servicos/saude/coronavirus/informe-epidemiologico/>>.
60. Pinto Neto, Osmar et al. "Lightning during the COVID-19 pandemic in Brazil." *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics* vol. 211 (2020): 105463. doi:10.1016/j.jastp.2020.105463.
61. Buss LF, Prete CA Jr, Abraham CMM, et al. COVID-19 herd immunity in the Brazilian Amazon. *Infectious Diseases (except HIV/AIDS)*. 2020; published online Sept 21. DOI:10.1101/2020.09.16.20194787.
62. Diekmann et al., 1980; van den Driessche e Watmough, 2002; Heesterbeek, 1992.
63. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). IBGE, 2020. <https://www.ibge.gov.br/>.
64. Kennedy, D.M, Zambrano, G.J., Wang, Y. Modeling the effects of intervention strategies on COVID-19 transmission dynamics. *J Clin Virol*. 128:104440 (2020); doi:10.1016/j.jcv.2020.104440.
65. Lee, J.K., & Jeong, H.W. Wearing facemasks regardless of symptoms is crucial for preventing spread of COVID-19 in hospitals. *Infect Control Hosp Epidemiol* (2020); doi: 10.1017/ice.2020.202.
66. Cheng H, Jian S, Liu D, et al., Contact Tracing Assessment of COVID-19 Transmission Dynamics in Taiwan and Risk at Different Exposure Periods Before and After.
67. Chi C. Taiwan's Response to the Coronavirus Pandemic - Now updated. 2020 [cited 2020 4 September];
68. Lin C, Braund WE, Auerbach J, et al., Policy Decisions and Use of Information Technology to Fight 2019 Novel Coronavirus Disease, Taiwan. *Emerging Infectious Disease journal*, 2020. 26(7)
69. Huang Irving Yi-Feng, Fighting Against COVID-19 through Government Initiatives and Collaborative Governance: Taiwan Experience. *Public Administration Review*, 2020.

70. Taiwan Centers for Disease Control. Guidelines for large-scale public gatherings in the wake of the COVID-19 outbreak. 2020 [cited 2020 1 September].
71. Chiang CH, Chiang CH, and Chiang CH, Maintaining stockpiles of mask in the COVID-19 pandemic: Taiwan as a learning model. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 2020: p. 1-6.
72. Huang Irving Yi-Feng, Fighting Against COVID-19 through Government Initiatives and Collaborative Governance: Taiwan Experience. *Public Administration Review*, 2020.
73. Immigration New Zealand. COVID-19. 2020 [cited 2020 1 September];
74. New Zealand Police - Nga Pirihimana o Aotearoa. Police position on COVID-19 checkpoints.
75. Duncan, D., COVID-19 and Labour Law: New Zealand. 2020, 2020. 13(1S);
76. Ministry of Health – Manatū Hauora. New Zealand Government 2020 [cited 2020 1 September].
77. Ministério da Saúde. Brasil registra 2.915 casos confirmados de coronavírus e 77 mortes. <https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/46610-brasil-registra-2-915-casos-confirmados-de-coronavirus-e-77-mortes>.
78. Ministério da Saúde. Portaria nº 454 de 20 de março de 2020. Declara, em todo o território nacional, o estado de transmissão comunitária do coronavírus (covid-19). *Diário Oficial da União* 2020; 20 março.