

# Modelando o fluxo do COVID-19 na Alemanha: a coorte Modelo SEIR baseado na abordagem da dinâmica de sistemas

Bahri, Muhammad Khairul

[databahri@yahoo.com](mailto:databahri@yahoo.com)

O Programa de Pós-Graduação em Estudos de Desenvolvimento (Jurusan Pascasarjana Studi Pembangunan)  
Instituto de Tecnologia de Bandung, 40132, Indonésia

## Abstrato

Este estudo desenvolve uma simulação computacional na compreensão do fluxo da COVID-19 em Alemanha entre janeiro de 2020 e julho de 2020. Este visa analisar não apenas o fluxo do COVID-19, mas também a eficácia das medidas tomadas durante o período determinado. computador modelo é baseado no conceito SEIR e é baseado na abordagem de dinâmica de sistemas em quais alguns parâmetros incertos são estimados através do processo de calibração. Além disso, o O modelo computacional SEIR é desenvolvido considerando diferentes fluxos de casos de COVID-19 em idosos e jovens na Alemanha. No final, este estudo reproduz com sucesso padrões de casos de infectados, recuperados e óbitos na Alemanha. O modelo computacional desenvolvido neste estudo pode ser uma base para estimar outras necessidades de recursos, como profissionais de saúde e capacidades.

Palavras-chave: dinâmica de sistemas; o COVID-19; o fluxo do COVID-19; Casos de COVID 19 na Alemanha; o modelo SEIR

## 1. Introdução

Originalmente, casos anteriores de COVID-19 foram relatados em Wuhan, China, em dezembro de 2019.

Nas viagens internacionais envolvendo visitantes chineses, o COVID-19 se espalhou pelo mundo, levando à primeira pandemia na última década. Devido à sua maior e ampla impactos, a OMS relata os números mais recentes sobre casos e mortes confirmados em todo o mundo desde janeiro de 2020.

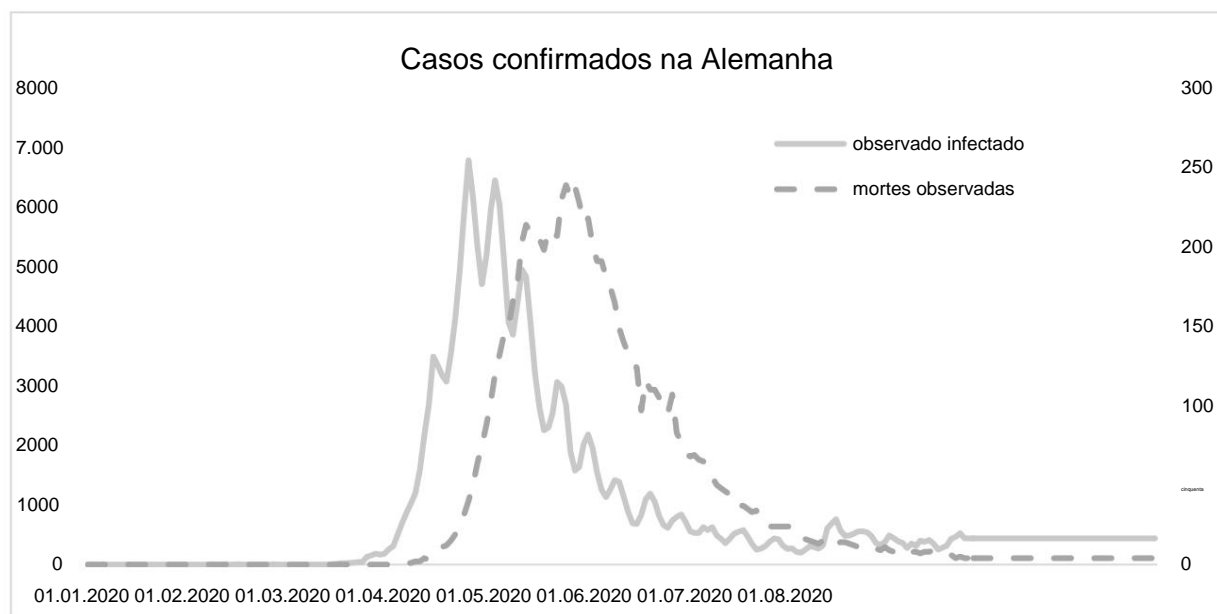
A Alemanha, o maior produtor econômico da Europa, inevitavelmente também experimentou essa pandemia. O primeiro caso de COVID-19 na Alemanha foi relatado no final de janeiro de 2020 como o primeiro paciente confirmado entrou em contato com seu colega infectado da China (por exemplo, Böhmer et al., 2020).

Em dois meses, mais de 100 casos confirmados foram registrados na Alemanha

(<https://www.worldometers.info/coronavirus/country/germany/>). Depois, casos confirmados

aumentou exponencialmente em cerca de 6.000 em meados de abril de 2020. Até o final de julho de 2020, o

NOTA: Este preprint relata novas pesquisas que não foram certificadas por revisão por pares e não devem ser usadas para orientar a prática clínica. Os casos de COVID-19 diminuíram significativamente, conforme visto na figura 1.



**Figura 1. Casos confirmados de infectados e óbitos na Alemanha**

**Para antecipar o fluxo massivo da COVID-19, o governo federal**

**fechamentos fechando espaços públicos como escolas, universidades e restaurantes a partir de**

**16 de março ([https://covid19-country-overviews.ecdc.europa.eu/#14\\_Germany](https://covid19-country-overviews.ecdc.europa.eu/#14_Germany)), para mais**

também foram aplicadas medidas como a proibição do toque de recolher nacional e a restrição de aglomeração de pessoas. Dentro princípio, as pessoas foram aconselhadas a ficar em casa o maior tempo possível e sair de casa apenas para necessidades básicas.

Vários estudos analisaram a dinâmica do COVID-19 na Alemanha. Estudos existentes (Barbarossa

et al., 2020; Khailaie et al., 2020) introduziu a modelagem matemática na compreensão do

fluxo dinâmico do COVID-19 enquanto outros estudos existentes (Dudel et al., 2020;

Karagiannidis et al., 2020; Nachtigall et al., 2020) explicaram os dados demográficos dos pacientes.

O fluxo do COVID-19 também tem sido o foco principal dos estudos existentes (Böhmer et al.,

2020; Stang et al., 2020).

Apesar de importantes contribuições, nenhum estudo disponível explicou qualquer simulação computacional para

investigar o fluxo do COVID-19 na Alemanha. Estudos existentes (Barbarossa et al., 2020;

Khailaie et al., 2020) apenas explicaram o fluxo do COVID-19 na Alemanha, mas não

separar duas medidas diferentes no combate ao fluxo da COVID-19. Isso é importante como

estudos existentes (Lüdecke, & von dem Knesebeck, 2020; Hoenig, & Wenz, 2020) indicaram

dois tipos de políticas: política de redução de comportamento (ações voluntariamente pessoais) e bloqueios

(a política do governo com leis de execução).

Assim, este estudo tem como objetivo desenvolver um modelo computacional que investigue a primeira onda do COVID-19. Além disso, nenhum estudo disponível analisou dois tipos de políticas de redução da fluxo pandêmico e nenhum estudo disponível desenvolveu o modelo SEIR de coorte que se baseia na abordagem SD. É assim que este estudo oferece um modelo computacional para explicar o fluxo da COVID-19 de janeiro a julho de 2020, além de analisar a eficácia dos dois diferentes políticas e composto pelos grupos de coorte (pacientes jovens e idosos).

## 2. Métodos e Dados

O modelo de computador é baseado em dados coletados por [www.worldometer.com](http://www.worldometer.com) e Robert Koch Instituto (RKI - [www.rki.de](http://www.rki.de)). Os dados deste estudo também dizem respeito a medidas importantes de [https://covid19-country-overviews.ecdc.europa.eu/#14\\_Germany](https://covid19-country-overviews.ecdc.europa.eu/#14_Germany) pois este portal oferece informações passo a passo o governo federal tomou medidas para enfrentar o fluxo do COVID-19. A coleta de dados inclui vários tipos de dados, como infectados, mortes e recuperações. Outros dados importantes também são coletados, como idades, tempo de incubação e recuperação Tempo.

O modelo de computador segue o modelo de Suscetíveis, Expostos, Infectados e Recuperados (SEIR) conceito. Este modelo de computador é baseado na abordagem de dinâmica de sistemas (SD) como muitos estudos simularam com sucesso doenças infecciosas, não infecciosas e outros cuidados de saúde questões (Donsimoni et al., 2020; Darabi & Hosseinichimeh, 2020; Davahli et al., 2020; Homer & Hirsch, 2006). Enquanto o modelo computacional segue o conceito SEIR e a abordagem SD, desafios devido a dados limitados, como parâmetros incertos, são visíveis. Este estudo calibra parâmetros incertos usando o processo de calibração disponível no Vensim®.

Para fazer o processo de calibração, este estudo utiliza a Cadeia de Markov Monte Carlo (MCMC) processo de calibração devido a parâmetros desconhecidos. Para obter os melhores valores de parâmetros, o O modelo de dinâmica do sistema compara duas saídas, incluindo casos infectados e mortes. os dois variáveis observadas são comparadas com variáveis simuladas para obter os melhores valores de parâmetros em o que significa que os melhores valores de parâmetros levam a menores discrepâncias entre os dois variáveis.

Este estudo também apresenta duas medidas ou políticas para enfrentar o fluxo da COVID-19.

A primeira política é chamada de redução de risco comportamental e a segunda é isolamento e rastreamento de redução de risco (fechamentos públicos). A principal razão para separar as políticas é que a primeira política é pessoas uma vez infectadas e pessoas desinfetadas fáceis de identificar, auto-quarentenas e saúde atitude como lavar as mãos são duas soluções possíveis. No entanto, uma vez separados os infectados e pessoas desinfetadas é relativamente difícil devido a picos de casos, a segunda política, ou seja,

o bloqueio é a melhor solução para interromper a transmissão de doenças (Piguillem & Shi, 2020).

Separar essas duas políticas também é importante por razões. A primeira razão existente estudos explicaram a importância da primeira política (Lüdecke, & von dem Knesebeck, 2020; Hoenig, & Wenz, 2020) e o segundo motivo é que a primeira política não é suportada por aplicação legal, a segunda política é a aplicação da lei apoiada (Hoenig, & Wenz, 2020).

### 3. Resultados

O modelo SEIR consiste em dois grupos: pacientes idosos ( $\geq 60$  anos) e jovens ( $< 60$  anos).

Há uma proporção desequilibrada dos casos infectados nos dois grupos, conforme RKI (2020) explicou que o primeiro grupo é composto por cerca de 95% do total de óbitos e cerca de 21% do total casos infectados. Enquanto o segundo grupo cobre 5% do total de mortes e apenas 79% do total casos infectados. Isso acomoda possíveis padrões de fatores diferentes, como tempo de recuperação e duração da infecção entre os dois grupos.

Vários estudos (por exemplo, Karagiannidis et al., 2020; Nachtigall et al., 2020) apontaram que há é um efeito de desequilíbrio do COVID-19 em que os idosos tendem a experimentar mais efeitos negativos, especialmente altos casos de morte entre os idosos. Está assim separando os pacientes em dois grupos significa que o modelo SEIR de coorte representa efeitos de desequilíbrio do COVID-19 em várias faixas etárias.

A Tabela 1 apresenta as principais variáveis utilizadas neste estudo e seus valores estimados com base em estudos existentes. Como mencionado anteriormente, o processo de calibração MCMC é necessário para obter os melhores valores, especialmente para parâmetros desconhecidos ou incertos. Durante o MCMC processo de calibração, os valores de parâmetros incertos são definidos com base na tabela 1.

variáveis	Valores	Referências
O(s) primeiro(s) caso(s) confirmado(s).	27 de janeiro	(Böhmer et al., 2020; Stafford, 2020)
Ro (número básico de reprodução)	(2,4-3,8)	(Khailaie et al., 2020; RKI, 2020)
tempo de incubação	(2-7) dias	(Böhmer et al., 2020; Khailaie et al., 2020; RKI, 2020)
duração da infecção	(45-91) dias Essa variável ocorre apenas para pacientes mais velhos (≥60 anos), pois esse grupo é o que mais morre. (3-35) dias* (3-7) dias**	(Karagiannidis et al., 2020; Nachtigall et al., 2020; Stang et al., 2020)
Tempo de recuperação * tempo de recuperação1 ** tempo de recuperação2 Respectivamente, essas variáveis representam o tempo de recuperação para pacientes mais velhos (≥60 anos) e pacientes mais jovens	.	(Nachtigall et al., 2020; Karagiannidis et al., 2020)
Fração baseada na estrutura etária (fração do grupo 1 em comparação com o total de pacientes infectados)	(19% - 22%)	R.K.I. (2020)
As medidas anteriores, como distanciamento social voluntário e comportamento de lavagem das mãos.  Dois estudos existentes (Lüdecke e von dem Knesebeck, 2020; Hoenig e Wenz, 2020) explicaram o comportamento protetor detectado e a campanha de saúde pública para minimizar o fluxo de COVID-19 em meados de fevereiro	Duas variáveis complementares são o “tempo de reação comportamental” (19-25 dias) e “redução do risco comportamental” é assumida entre 10% e 50%. O tempo de redução comportamental é medido entre o primeiro caso de infecção e o início das ações de redução de risco comportamental. Esta medição de tempo também se aplica a outras medições de tempo.	(ECDC, 2020; Der Spiegel, 2020)
O bloqueio nacional (fechamento público). Isso significa que o bloqueio nacional começou (56-62) dias antes da primeira infecção.  O bloqueio nacional é uma medida muito rigorosa, portanto, o efeito também é considerado muito alto (60-85)%.	Fechamento público a partir de 16 de março e proibição de mais de 2 pessoas em 22 de março.  No modelo, essa variável é denominada “lockdown(s) de tempo de redução de risco” (56-62), e sua variável complementar é denominada “lockdown(s) de redução de risco” (60-85)%.  Como o início do bloqueio pode variar entre as autoridades locais, outra variável, ou seja, “tempo de atraso” (1-5 dias) é inserida no modelo de computador.	(ECDC, 2020; Stafford, 2020)

Tabela 1. A configuração dos valores dos parâmetros para o processo de calibração

A Figura 2 mostra que o modelo de dinâmica do sistema (SD) separa os pacientes infectados em dois grupos. Isso também significa que para cada grupo, o modelo SD calcula o número de infectados casos, recuperações e mortes. O tempo de recuperação<sup>1</sup> é definido como o tempo médio entre o início e recuperação dos sintomas enquanto a duração da infecção<sup>1</sup> é definida como o tempo médio entre início dos sintomas e óbitos.

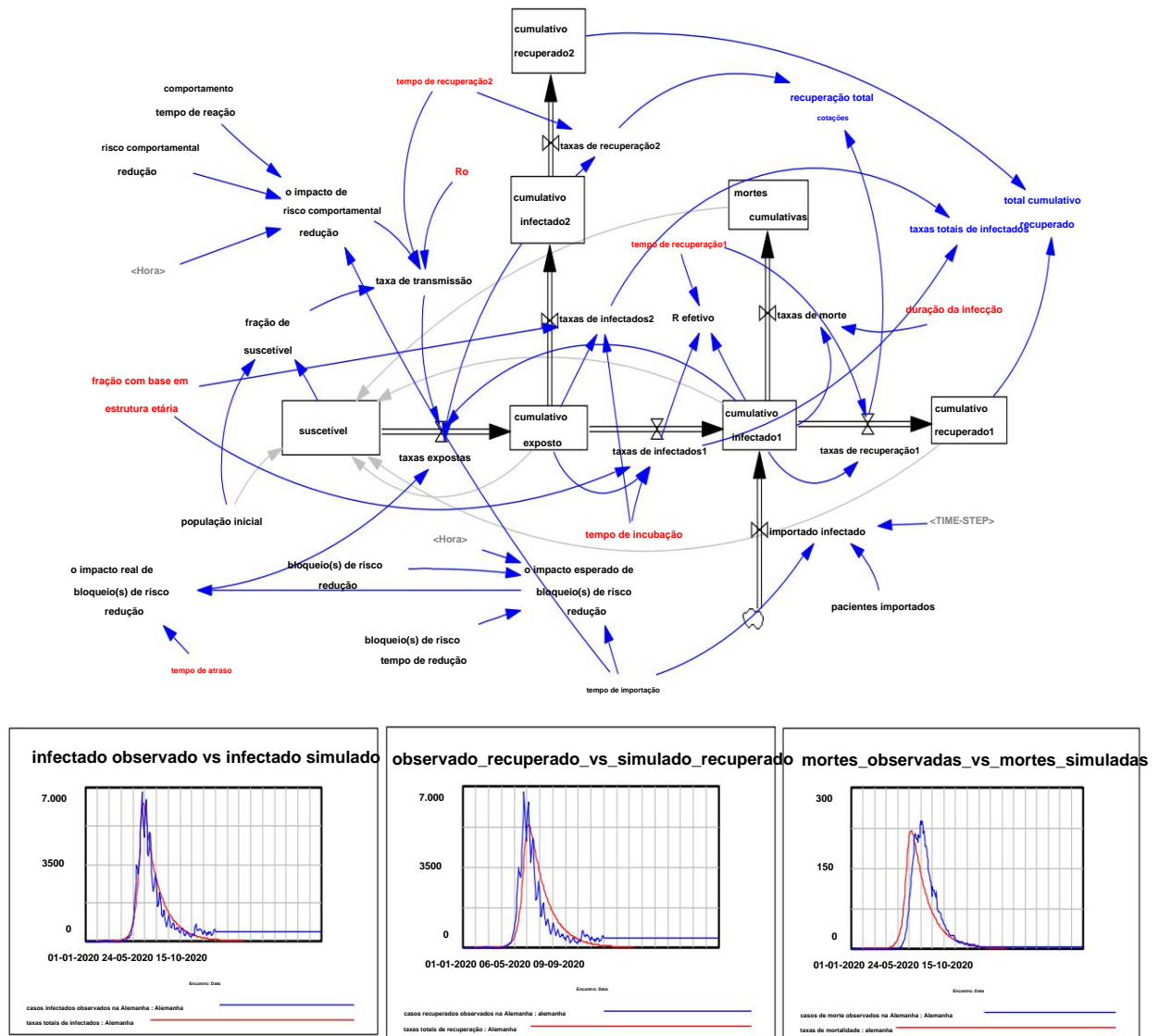


Figura 2. O modelo SD da Alemanha COVID-19

O número de casos infectados, mortes e recuperações são baseados nas equações 1-3 (semelhante equações se aplicam para taxas de *infectados2* e taxas de *recuperação2*) da seguinte forma:

$\text{taxas de infectados1} = \text{"expostos cumulativos"}/\text{tempo de incubação} \times \text{fração com base na estrutura etária}$

(1)

$\text{taxas de mortalidade} = \text{"infectado cumulativo1"}/\text{duração da infecção} \dots\dots\dots$

(dois)

taxas de *recuperação*1 = "infectado cumulativo1"/tempo de recuperação1 .....

(3)

A taxa de transmissão mede o número de pessoas expostas após o contato ou o fechamento do estande com pessoas infectadas. Seguindo Fiddaman (2020), a taxa de transmissão é calculada com base em equação 3. Para a primeira apólice, seu impacto é calculado com base na equação 4. A equação 4 significa que a primeira política de redução de risco comportamental diminui a taxa de transmissão com base em dois fatores: “risco de redução comportamental” e “tempo de redução comportamental”.

*Taxa de transmissão* = (Ro/tempo de recuperação2)\*fração de suscetíveis\*(1-os impactos do comportamento redução de risco) ..... (4)

Uma equação semelhante é aplicada para a segunda política, conforme visto na equação 5. Equações 5a e 5b mostram que o número de casos expostos diminui após a segunda política começar em “isolamento e rastreamento do tempo de redução de risco”.

*os impactos esperados de bloqueio(s) de redução de risco* = SE ENTÃO ELSE(Tempo>=importação time+"lockdown(s) de redução de risco time", "lockdown(s) de redução de risco" , 0) ..... (5a)

*os impactos reais de bloqueio(s) de redução de risco* = DELAY3I("os impactos esperados de bloqueio(s) de redução de risco", delaytime , "os impactos esperados de bloqueio(s) de risco redução") ..... (5b)

Após executar o processo de calibração do MCMC, o autor encontra alguns valores possíveis com o menores erros como visto na tabela 2.

variáveis	Valores estimados
Ro (número básico de reprodução)	3,45 (2,4-3,8) 3
Tempo de incubação (dias)	(2-7) dias 64,5
Duração da infecção (dias)	(45-91) dias
Tempo de recuperação (dias)	
* tempo de recuperação1 (≥60 anos)	5 (3-35) dias* 3,5
** tempo de recuperação2 (<60 anos)	(3-7) dias** 22% 15
Fração baseada na estrutura etária	
O tempo de reação comportamental (dias)	
A redução do risco comportamental	10%
O(s) bloqueio(s) do tempo de redução de risco	61
O(s) bloqueio(s) de redução de risco	84,5%

Tempo de atraso (dias)	4,5
------------------------	-----

**Tabela 2. Melhores valores de parâmetros do modelo SEIR. Em intervalos de valores entre colchetes com base em estudos existentes, conforme visto na tabela 1. Nenhum valor entre colchetes significa que os melhores valores são assumidos.**

Verifica-se que a eficácia da primeira política é de cerca de 10%, assumindo que um tempo de incubação é cerca de 3 dias. Enquanto a eficácia da segunda política é de cerca de 85% na minimização do COVID-19 fluxo. Essa descoberta pode explicar a segunda onda do COVID-19 na Alemanha. Uma vez o segunda política, ou seja, os bloqueios são liberados, os casos infectados aumentaram significativamente apesar da consciência pública ou existência de comportamento público (uso de máscaras e distanciamento em espaços públicos).

Parece que o modelo SD pode reproduzir saídas semelhantes em comparação com os respectivos observados saídas como visto na figura 2. O desempenho do modelo SD mostra que o modelo SD tem Erros de Percentual Médio Simétrico (sMAPE) inferiores a 10%.

variáveis	sMAPE
casos infectados	<5%
Casos de morte	<5%
Casos recuperados	7%

**Tabela 2. sMAPE para o modelo SEIR**

## conclusões

Este estudo preenche uma lacuna em que os estudos existentes não separaram os impactos do primeiro política (o comportamento das pessoas) e a segunda política (as ações do governo) no enfrentamento da Fluxo COVID-19 na Alemanha. Para medir os impactos da primeira e da segunda política, este estudo desenvolve o modelo SEIR baseado na abordagem da dinâmica de sistemas e obtém o melhor valores de parâmetros através do processo de calibração MCMC.

Mostra-se que a primeira política, ou seja, o comportamento preventivo, como lavar as mãos e o distanciamento social/físico é importante para minimizar o fluxo do COVID-19. No entanto, a segunda política, ou seja, os bloqueios mostram papéis importantes no achatamento da curva do COVID-19. Com este ponto em mente, a liberação de bloqueios deve ser iniciada com cuidado, pois, apesar da importância do comportamento preventivo, a primeira política não é suficiente para diminuir os casos de pandemia.

Este estudo mostra que o modelo SEIR coorte pode reproduzir com sucesso padrões semelhantes de o COVID-19 na Alemanha. Como é o modelo SEIR de coorte, pode ser usado para estimar o efeitos de desequilíbrio do COVID-19 em diferentes faixas etárias. Além disso, como a coorte SEIR modelo é um modelo de simulação, o modelo SEIR pode ser uma base para simular impactos do COVID-19 em recursos como profissionais de saúde e capacidade de leitos.



## Material(s) suplementar(es):

Os modelos Vensim estão disponíveis em: <https://osf.io/3k6db>

## referências

Barbarossa, M.V., Fuhrmann, J., Meinke, J.H., Krieg, S., Varma, H.V., Castelletti, N., & Lippert, T. (2020). Modelando a disseminação do COVID-19 na Alemanha: avaliação inicial e possíveis cenários. *Plos um*, 15(9), e0238559.

Böhmer, MM, Buchholz, U., Corman, VM, Hoch, M., Katz, K., Marosevic, DV, ... & Eberle, U. (2020). Investigação de um surto de COVID-19 na Alemanha resultante de um único caso primário associado a viagens: uma série de casos. *The Lancet Doenças Infecciosas*.

Darabi, N., & Hosseinichimeh, N. (2020). Modelagem de Dinâmica de Sistemas em Saúde e Medicina: Uma Revisão Sistemática da Literatura. *Revisão da Dinâmica do Sistema*.

Davahli, M.R., Karwowski, W., & Taiar, R. (2020). Uma Simulação de Dinâmica de Sistemas Aplicada à Saúde: Uma Revisão Sistemática. *Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública*, 17(16), 5741.

Donsimoni, JR, Glawion, R., Plachter, B., & Wälde, K. (2020). Projetando a propagação do COVID-19 para a Alemanha. *German Economic Review*, 21(2), 181-216.

*Der Spiegel*. (2020). "[Bundesregierung adverte vor Ausgrenzung von Infizierten und Kontaktpersonen](#)". *Der Spiegel*. 1 de fevereiro de 2020. Recuperado em 21 de março de 2020.

Dudel, C., Riffe, T., Acosta, E., van Raalte, AA, & Myrskylä, M. (2020). Monitoramento de tendências e diferenças nas taxas de mortalidade de casos de COVID-19 usando métodos de decomposição: contribuições da estrutura etária e fatalidade específica por idade. *medRxiv*.

Centro Europeu de Prevenção e Controlo de Doenças (ECDC). (2020). Visão geral do país Covid. Acessado em [https://covid19-country-overviews.ecdc.europa.eu/#14\\_Germany](https://covid19-country-overviews.ecdc.europa.eu/#14_Germany) em 1º de dezembro de 2020.

Centro Europeu de Prevenção e Controlo de Doenças (ECDC). (2020). Visão geral do país Covid. Acessado em [https://covid19-country-overviews.ecdc.europa.eu/#19\\_Italy](https://covid19-country-overviews.ecdc.europa.eu/#19_Italy) em 1º de dezembro de 2020.

Fiddaman, T. (2020). 'Um modelo comunitário de coronavírus para Bozeman'. *MetaSD* (blog). 11 de julho de 2020. <https://metasd.com/2020/03/community-coronavirus-model-bozeman/>.

Hoenig, K., & Wenz, S.E. (2020). Educação, comportamento de saúde e condições de trabalho durante a pandemia: evidências de uma amostra alemã. *Sociedades Europeias*, 1-14.

Homer, JB, & Hirsch, GB (2006). Modelagem de dinâmica de sistemas para a saúde pública: antecedentes e oportunidades. *Jornal americano de saúde pública*, 96(3), 452-458.

Khailaie, S., Mitra, T., Bandyopadhyay, A., Schips, M., Mascheroni, P., Vanella, P., ... & Meyer-Hermann, M. (2020). Desenvolvimento do número de reprodução de dados de casos de coronavírus SARS-CoV-2 na Alemanha e implicações para medidas políticas. *medRxiv*.

Karagiannidis, C., Mostert, C., Hentschker, C., Voshaar, T., Malzahn, J., Schillinger, G., ... & Kluge, S. (2020). Características do caso, uso de recursos e resultados de 10.021 pacientes com

**COVID-19 admitido em 920 hospitais alemães: um estudo observacional. *The Lancet Respiratory Medicine*, 8(9), 853-862.**

**Lüdecke, D., & von dem Knesebeck, O. (2020). Comportamento protetor durante o surto de COVID-19 – resultados da pesquisa da Alemanha. *Fronteiras em saúde pública*, 8, 567.**

**Nachtigall, I., Lenga, P., Jöywiak, K., Thürmann, P., Meier-Hellmann, A., Kuhlen, R., ... & Hauptmann, M. (2020). Curso clínico e fatores associados a desfechos entre 1.904 pacientes hospitalizados com COVID-19 na Alemanha: um estudo observacional. *Microbiologia Clínica e Infecção*.**

**Piguillem, F., & Shi, L. (2020). *As políticas ideais de quarentena e testes de covid-19* (nº. 2004). Instituto Einaudi de Economia e Finanças (EIEF).**

Instituto Robert Koch (RKI). (2020). Epidemiologischer Steckbrief zu SARS-CoV-2 e COVID-19. [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Steckbrief.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html)

---

**Stang, A., Stang, M., & Jöckel, K.H. (2020). Uso estimado de leitos de terapia intensiva devido ao COVID-19 na Alemanha ao longo do tempo. *Deutsches Arzteblatt International*, 117(19), 329.**

**Stafford, N. (2020). Covid-19: Por que a taxa de mortalidade de casos da Alemanha parece tão baixa. *Bmj*, 369.**