

Sistema Multiagente para simulação de propagação viral no contexto da COVID-19 utilizando a ferramenta NetLogo*

Bruno C. Alves¹, Letícia B. Caldas³, Ulisses G. F. Junior², Agatha C. S. Santos³, Rodolfo B. Grossmann², Míriam B. Born¹ e Marilton S. de Aguiar¹

¹Programa de Pós-Graduação em Computação

²Graduação em Ciência da Computação

³Graduação em Engenharia de Computação

Universidade Federal de Pelotas – Pelotas – RS – Brasil

{bcalves, lbcaldas, ugfjunior, acssantos, rbgrossmann, mbborn, marilton}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *The transmission of infectious diseases, such as the virus that causes COVID-19, has become increasingly relevant due to its direct impact on society, affecting both economic and social sectors. However, these impacts are not evenly distributed across the population, with more intense effects on people living in vulnerable areas – due to greater exposure to the virus and difficulties in accessing the healthcare system. This work proposes a multi-agent system, developed using NetLogo, to simulate the spread of the COVID-19 virus. The main contribution of this proposal is a multi-agent simulation model that incorporates both social and clinical aspects of the population.*

Resumo. *A transmissão de doenças infecciosas, como o vírus causador da COVID-19, tem se tornado cada vez mais relevante, dada sua implicação direta na sociedade, impactando setores econômicos e sociais. No entanto, esses impactos não são distribuídos de forma uniforme entre a população, afetando mais intensamente pessoas que vivem em territórios vulnerabilizados – tanto pela maior exposição ao vírus quanto pelas dificuldades de acesso ao sistema de saúde. Deste modo, este trabalho propõe um sistema multiagente, desenvolvido na ferramenta NetLogo, para simulação da propagação do vírus da COVID-19. A principal contribuição da proposta é oferecer um modelo de simulação com sistemas multiagentes, incluindo aspectos sociais e clínicos da população.*

1. Introdução

A COVID-19 é uma doença infecciosa, causada pelo coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2, do termo em inglês *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*), identificado inicialmente em dezembro de 2019, na China. Com alta taxa de transmissibilidade entre seres humanos, a pandemia desse coronavírus infectou pelo menos 7,6 milhões de pessoas no Brasil em apenas um ano, levando cerca de 195 mil à morte [Ministério da Saúde 2025]. Apesar da aquisição de anticorpos pela sociedade, seja por vacinas ou infecções prévias, a doença requer cautela, tendo em vista que novas variantes continuam surgindo, como a NB.1.8.1 [Uriu et al. 2025].

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Dada a gravidade da situação provocada pela pandemia de COVID-19, diversos setores econômicos e sociais foram diretamente impactados, incluindo o comércio, a educação e a saúde pública. No entanto, os efeitos não se distribuíram de maneira uniforme entre a população. De acordo com [Matta et al. 2021], as pessoas que vivem em favelas e territórios vulnerabilizados são mais afetadas, tanto pela maior exposição ao vírus quanto pelas dificuldades no acesso ao diagnóstico e tratamento.

Considerando as variáveis que influenciam a propagação do coronavírus, como condições de risco, medidas de prevenção e aspectos sociais, pode-se modelar um sistema multiagente. Segundo [Wooldridge 2009], esse tipo de sistema é composto por múltiplos agentes capazes de realizar ações orientadas por objetivos. Assim, os agentes tomam decisões de forma distribuída e colaborativa para alcançar metas em comum, interagindo em um ambiente dinâmico ao longo do tempo.

Neste contexto, este estudo propõe a modelagem de um sistema multiagente, utilizando a ferramenta NetLogo [Wilensky 1999], para simular a dinâmica de propagação do vírus causador da COVID-19. A modelagem proposta considera fatores sociais, incluindo densidade populacional, o acesso ao sistema de saúde e as medidas de prevenção adotadas pela sociedade, além de aspectos clínicos, como comorbidades presentes nos cidadãos.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta alguns antecedentes importantes para este trabalho; a Seção 3 apresenta a metodologia utilizada neste estudo; a Seção 4 apresenta os resultados e as discussões; e, por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões deste trabalho.

2. Referencial Teórico

Diante do contexto deste trabalho, nesta Seção serão apresentados conceitos da área de Sistemas Multiagente e da ferramenta de simulação NetLogo. Além disso, serão discutidos os principais trabalhos relacionados.

2.1. Sistemas Multiagente

Sistemas Multiagente (SMA) referem-se a conjuntos de agentes autônomos que interagem em um ambiente compartilhado para alcançar objetivos individuais ou coletivos. Cada agente possui capacidades específicas, como percepção, raciocínio e ação, permitindo-lhe tomar decisões de forma independente. A abordagem baseada em SMA facilita a decomposição de problemas complexos, promove a abstração de componentes do sistema e permite interações flexíveis entre os agentes, contribuindo para a construção de soluções mais robustas e adaptáveis [Russell and Norvig 2020].

2.2. NetLogo

O NetLogo [Wilensky 1999] é uma linguagem de programação e ambiente de desenvolvimento integrado projetado para facilitar a modelagem baseada em agente, sendo amplamente utilizado em diversas áreas, incluindo ecologia, sociologia, economia e educação. Assim, no NetLogo, pode-se modelar tanto o ambiente quanto os agentes da simulação. Além disso, o NetLogo suporta simulações em duas e três dimensões, proporcionando uma visualização detalhada dos fenômenos estudados [Gkiolmas et al. 2015].

2.3. Trabalhos Relacionados

No contexto da simulação de sistemas multiagente para COVID-19, usando o NetLogo, existem trabalhos na literatura que propõem sistemas com base em diversos aspectos.

O artigo de [Gojo Cruz and Clariño 2022] apresenta um modelo para explorar os efeitos de diferentes tipos de máscaras – como máscaras médicas e não médicas, e de vacinas – como *Pfizer*, *Moderna*, *AstraZeneca*, na transmissão do vírus. Os resultados destacam o uso de máscaras de alta eficácia e as vacinas *Pfizer* e *Moderna* como mais relevantes na redução de picos de infecção e mortalidade.

Por outro lado, o trabalho de [Agustin et al. 2021] foca na eficácia das medidas não farmacêuticas adotadas pelo governo filipino, como quarentenas comunitárias, uso de máscaras e rastreamento digital por *smartphones*. Com base em dados reais e simulações no NetLogo, os autores concluem que a combinação destas estratégias pode reduzir drasticamente a taxa de infecção, especialmente quando há alta adesão populacional.

Estudos como o de [Shanaa and Abdallah 2020] aplicam modelos baseados em agentes para simular surtos de COVID-19 em ambientes semi-fechados, como fábricas e navios. Os autores mostram que o controle da mobilidade, o isolamento e o controle de viagens são estratégias eficazes para conter a propagação do vírus.

Por fim, o trabalho de [Starr and Kain 2022] propõe um SMA que incorpora variáveis – como densidade populacional, perfil racial e etário, para avaliar intervenções localizadas. O modelo demonstra que comunidades com maior proporção de idosos, menor taxa de vacinação e maior presença de grupos minoritários (como negros e latinos) enfrentam surtos mais graves, e que intervenções como distanciamento social e mandatos de máscara impactam de forma positiva populações de alto risco.

Deste modo, este trabalho diferencia-se dos demais por considerar fatores, incluindo acesso da população ao sistema de saúde e comorbidades presentes nos cidadãos, com foco em territórios vulnerabilizados. Além disso, a modelagem do sistema multiagente inclui diferentes tipos de variantes do vírus da COVID-19, segmentação por grupos etários, uso de máscaras e aplicação de vacinas na população.

3. Metodologia

Nesta seção será apresentado o sistema desenvolvido na plataforma NetLogo, adotando uma abordagem baseada em agentes para simular a disseminação do SARS-CoV-2 em um ambiente urbano, incluindo indivíduos com aspectos heterogêneos.

3.1. Modelagem do Sistema

No sistema proposto, cada agente representa um indivíduo da população, sendo modelado de acordo com o clássico modelo epidêmico SIR (Suscetível-Infectado-Recuperado) [Sahneh et al. 2012], amplamente utilizado para modelar a dinâmica de doenças infecciosas. Deste modo, os agentes são classificados nos seguintes estados:

Suscetíveis (S): Indivíduos, representados pela cor verde, que ainda não foram infectados e estão suscetíveis ao contágio.

Infectados (I): Indivíduos, representados pela cor vermelha, que estão transmitindo o vírus e, após determinado período, podem se recuperar ou falecer.

Recuperados (R): Indivíduos, representados pela cor azul claro, que adquiriram imunidade após a infecção.

Além do estado de saúde, os agentes possuem atributos que influenciam diretamente na propagação e gravidade da doença, como faixa etária, presença de comorbidade, estado vacinal, uso de máscara e acesso ao sistema de saúde. A eficácia vacinal é incorporada ao modelo tanto na redução da probabilidade de infecção quanto na atenuação da progressão para formas graves da doença. O acesso ao tratamento de saúde, por sua vez, reduz a chance de morte em 50%. Considerando o impacto da COVID-19 em diferentes idades, a população foi segmentada entre crianças (0-14 anos), adultos (15-59 anos) e idosos (60 anos ou mais). Neste contexto, crianças tendem a apresentar quadros clínicos mais leves, enquanto idosos estão mais sujeitos a formas mais graves da doença.

A modelagem do sistema permite a parametrização epidemiológica baseada nas variantes *Alpha* [Volz et al. 2021], *Delta* [Sheikh et al. 2021] e *Omicron* [Karim and Karim 2021] de SARS-CoV-2, amplamente estudadas na literatura. Deste modo, estes parâmetros incluem: i) raio de transmissão – distância máxima para contágio entre agentes; ii) taxa de transmissão – probabilidade de infecção por contato próximo; iii) duração da infecção – período em que o agente permanece no estado infectado; e iv) taxa de mortalidade – probabilidade de morte por faixa etária. Os valores das taxas definidas, por variante do vírus, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parametrização epidemiológica por variante do SARS-CoV-2.

Variante do Vírus	Taxa de Transmissão	Taxa de Mortalidade		
		Crianças	Adultos	Idosos
<i>Alpha</i>	8%	0,2%	2%	6%
<i>Delta</i>	12%	0,4%	4%	12%
<i>Omicron</i>	16%	0,1%	1%	3%

De acordo com a Tabela 1, observa-se que os valores utilizados para a variante *Omicron* apresentam maior taxa de transmissão, porém com mortalidade reduzida em comparação às demais. Esta combinação resultou em um grande número de infecções com menor impacto em termos de mortalidade [Karim and Karim 2021]. A variante *Delta*, por sua vez, destacou-se pela elevada taxa de mortalidade, sendo responsável por surtos graves em diversos países [Sheikh et al. 2021]. Já a variante *Alpha* apresentou mortalidade e transmissibilidade intermediária, sendo inferior à da Delta [Volz et al. 2021]. Os valores da parametrização da simulação foram definidos de forma arbitrária para fins de exemplificação e podem ser ajustados conforme a situação observada no mundo real.

3.2. Ambiente de Simulação

O ambiente de simulação é representado por uma grade bidimensional, conforme ilustra a Figura 1. Os agentes são representados pelos símbolos das pessoas, as áreas privadas delimitadas pelos quadriláteros em vermelho, as áreas comuns representadas pelas cores amarelo e preto, além de um hospital público (em azul claro) e de um hospital privado (em azul escuro). As distâncias até os hospitais são pré-calculadas para otimizar a decisão dos agentes durante a busca por atendimento. O ambiente de simulação foi criado de forma arbitrária para representar uma comunidade de alta densidade, similar a bairros brasileiros. Por não ser uma localização real, os resultados são ilustrativos e não generalizáveis.

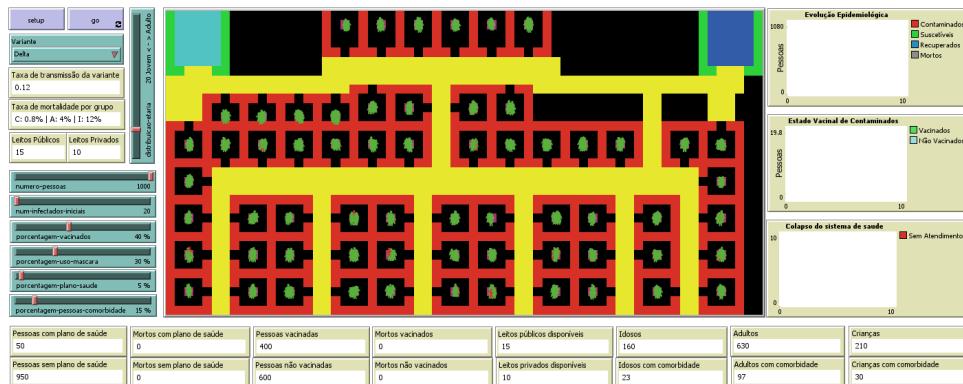


Figura 1. Estado inicial do ambiente de simulação construído no NetLogo.

Durante a inicialização, os agentes são distribuídos aleatoriamente nas áreas privadas do ambiente, conforme mostra a Figura 1. Os aspectos individuais dos agentes – estado de vacinação, presença de comorbidade, acesso a plano de saúde e uso de máscara – são definidos probabilisticamente, com base em parâmetros configuráveis na interface da simulação. A simulação ocorre em ciclos discretos de tempo (*ticks*), onde 24 ciclos representam um dia, durante os quais os agentes realizam suas ações: movimentação, interação, progressão da doença e tomada de decisão de hospitalização. A execução prossegue até não haver infectados no ambiente ou até atingir um número máximo de ciclos.

Os agentes movimentam-se aleatoriamente pelo ambiente, exceto quando desenvolvem sintomas graves, momento em que buscam hospitalização. A escolha entre hospitais públicos e privados depende da posse de plano de saúde. Por padrão, são criados leitos públicos e privados relativos a 1,5% e 1% da população, respectivamente. Na ausência de leitos, o agente retorna ao ambiente com maior risco de mortalidade devido à falta de tratamento. O ambiente de simulação também fornece indicadores em tempo real, incluindo: evolução das curvas SIR, ocupação hospitalar e visualização da dinâmica da pandemia. Esta estrutura permite analisar o impacto de diferentes políticas de saúde, como campanhas de vacinação, distribuição de máscaras e ampliação da capacidade hospitalar.

4. Resultados e Discussões

Nesta Seção serão apresentados os resultados deste estudo. Deste modo, serão discutidos os cenários construídos para simulação social no contexto da COVID-19.

A Figura 2 apresenta um exemplo de simulação do sistema modelado, representando uma comunidade vulnerável, com alta densidade populacional e acesso limitado ao sistema de saúde, durante um surto da variante *Delta*. O avanço da infecção é evidenciado pela predominância de agentes exibidos na cor vermelha. A partir da Figura, também é possível visualizar dados sobre o sistema de saúde, indivíduos vacinados, óbitos e população por faixa etária, além de gráficos que ilustram o colapso do sistema de saúde, o estado vacinal dos contaminados e a evolução epidemiológica ao longo do tempo.

A Tabela 2 sumariza os resultados das taxas de mortalidade por grupo etário segundo fatores de risco considerando a variante *Delta*, uma população de mil indivíduos com 2% infectados inicialmente, composta por 16% idosos, 63% adultos e 21% crianças. Os cenários simulados abrangem variações de 25% e 75% na proporção da população

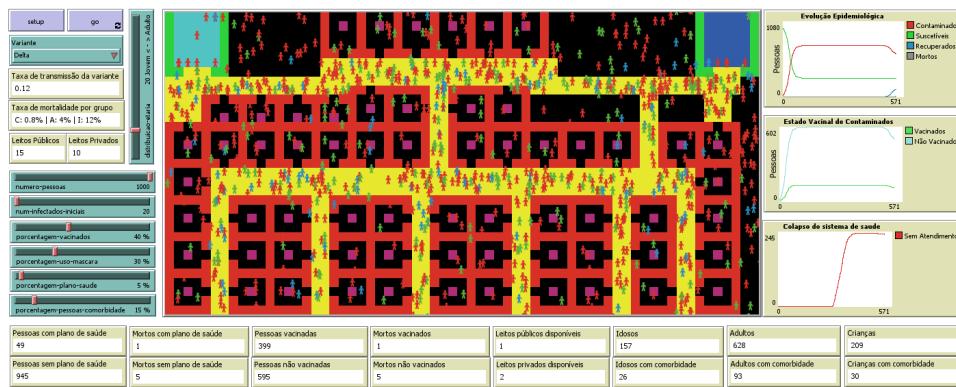


Figura 2. Simulação social para COVID-19 considerando a variante *Delta*.

com comorbidades, acesso a plano de saúde, uso de máscaras e cobertura vacinal, ativando apenas um fator por vez, com os demais zerados. De acordo com esta Tabela, a variante apresentou um comportamento agressivo em termos de mortalidade, especialmente quando há baixa adoção de medidas de contenção.

Tabela 2. Comparação das taxas de mortalidade por faixa etária em diferentes cenários simulados com a variante *Delta* da COVID-19.

Cenário	Crianças	Adultos	Idosos	Total
Comorbidades: 25%	1,9%	5,08%	21,25%	7%
Comorbidades: 75%	2,38%	7,78%	30,63%	10,3%
Máscara: 25%	2,38%	6,35%	19,38%	7,6%
Máscara: 75%	1,42%	6,19%	16,25%	6,8%
Plano de Saúde: 25%	0,48%	7,94%	21,25%	8,5%
Plano de Saúde: 75%	0,95%	5,4%	17,5%	6,4%
Vacinação: 25%	1,43%	4,92%	15%	5,8%
Vacinação: 75%	0,48%	1,59%	3,75%	1,7%

Em cenários nos quais a população não contava com amplo acesso ao sistema de saúde, observou-se um número elevado de mortes. Em uma população não vacinada, sem uso de máscaras e com 25% de cobertura por plano de saúde, registrou-se taxa de mortalidade de 8,4% entre adultos e idosos. Entretanto, crianças foram menos afetadas, com mortalidade inferior a 1%. Ao aumentar o acesso ao plano de saúde de 25% para 75% da população, houve uma importante redução de cerca de 24% em mortes totais. No entanto, com leitos esgotados, o plano de saúde deixa de garantir acesso efetivo ao hospital. O uso de máscaras apresentou efeitos mais modestos, reduzindo cerca de 10% em mortes totais quando 75% dos indivíduos utilizavam a proteção comparada a quando apenas 25% utilizada. Ainda sim, o uso de máscaras mostra potencial preventivo.

A presença de comorbidades foi um dos elementos mais críticos para o aumento de mortalidade, afetando todos os grupos etários. Nos cenários em que 25% da população possuía doenças crônicas, a taxa foi de 7%. Quando este grupo passou para 75% da população, a taxa subiu para 10,3%. Neste caso, a presença de comorbidades aumentou o risco de morte, em cerca de 47%. Um outro dado marcante surgiu com a introdução da vacinação. Com 25% da população vacinada, a taxa de mortes foi de 5,8%. Já quando

75% da sociedade estava imunizada, a taxa foi de apenas 1,7%, representando uma queda de 70,7% em relação ao cenário com menor cobertura vacinal. Neste estudo, as comorbidades foram consideradas de forma genérica, sem distinção entre tipos específicos.

Além da análise focada na variante *Delta*, os dados apresentados na Tabela 3 permitem uma comparação entre variantes em um cenário com 40% da população vacinada, 30% com máscaras, 15% com comorbidades e 5% com acesso ao plano de saúde. A *Delta* causou taxa de mortalidade de 5,3%, enquanto a variante *Alpha* resultou em 2,2%, mostrando sua gravidade. A variante *Omicron*, embora mais transmissível, foi associada a menor taxa de óbitos: 1,6%. Isso sugere que, apesar do risco maior de contágio, sua mortalidade é inferior à das demais variantes analisadas, conforme discutido na Seção 3.

Tabela 3. Comparação das taxas de mortalidade por faixa etária entre variantes simuladas da COVID-19.

Variante	Crianças	Adultos	Idosos	Total
<i>Alpha</i>	0,48%	1,43%	7,5%	2,2%
<i>Delta</i>	1,9%	4,13%	14,38%	5,3%
<i>Omicron</i>	0%	0,79%	6,9%	1,6%

Neste contexto, os resultados indicam que a vacinação teve o maior impacto isolado na redução da mortalidade, superando outras medidas. A presença de comorbidades confirmou-se como fator de risco crítico, ampliando a gravidade da infecção. Já o uso de máscaras e, sobretudo, o acesso ao sistema de saúde funcionam como complementos importantes, especialmente em cenários sem cobertura vacinal. A variante *Delta*, por sua vez, confirmou sua posição como a mais perigosa entre as analisadas no sistema.

5. Conclusões

Neste estudo foi proposto uma modelagem multiagente para simulação social de propagação viral no contexto da COVID-19, utilizando a ferramenta NetLogo. O sistema permite simular a disseminação do vírus considerando diversos tipos de fatores, incluindo densidade populacional, acesso aos sistema de saúde, proporção de pessoas com comorbidades, medidas de prevenção adotadas pela sociedade, faixa etária, além de taxa de transmissão e mortalidade de variantes do vírus.

Com este estudo foi possível observar a relevância do uso de máscaras e do acesso ao sistema de saúde para o tratamento de COVID-19, especialmente em cenários de comunidades vulnerabilizadas. Ainda, destaca-se fundamental o papel da vacinação para redução do número de óbitos. Além disso, observa-se a importância de ações voltadas à população, sobretudo no tratamento de comorbidades. No futuro, pretendemos incluir novas variáveis no sistema, como campanhas de vacinação, testagem, reinfecções, comorbidades específicas e implementações de restrições de circulação. No contexto de transmissão viral, este estudo continua sendo um importante tópico de estudo, uma vez que novas variantes continuam surgindo, reforçando a necessidade de atenção contínua a essas populações.

Referências

Agustin, A. D., Ferrer, J. C. M., Bolingot, H. J. M., Celestre, J. D. I., Oppus, C. M., and Monje, J. C. N. (2021). Agent-based modeling of covid-19 infection rate vis-à-vis the

philippine government community quarantine and face covering measures. In *2021 3rd International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, pages 1–8.

Gkiolmas, A., Chalkidis, A., Papaconstantinou, M., Iqbal, Z., and Skordoulis, C. (2015). An alternative use of the netlogo modeling environment, where the student thinks and acts like an agent, in order to teach concepts of ecology. *arXiv preprint arXiv:1501.05779*.

Gojo Cruz, J. I. N. and Clariño, M. A. A. D. (2022). An agent-based modeling and simulation tool for the exploration of the effects of masks and vaccines on covid-19 spread. In *2022 2nd International Conference in Information and Computing Research (iCORE)*, pages 60–65.

Karim, S. S. A. and Karim, Q. A. (2021). Omicron sars-cov-2 variant: a new chapter in the covid-19 pandemic. *The Lancet*, 398(10317):2126–2128.

Matta, G. C., Rego, S. P., and Souto, F., editors (2021). *Os impactos sociais da Covid-19 no Brasil: populações vulnerabilizadas e respostas à pandemia*. Fiocruz, Rio de Janeiro.

Ministério da Saúde (2025). Covid-19 no brasil. Disponível em: https://infoms.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html. Acesso em: 7 jun. 2025.

Russell, S. and Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education, Hoboken, NJ, USA, 4th edition.

Sahneh, F. D., Scoglio, C., and Van Mieghem, P. (2012). Generalized epidemic mean-field model for spreading processes over multilayer complex networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 21(5):1609–1620.

Shanaa, M. and Abdallah, S. (2020). Agent-based simulation for covid-19 outbreak within a semi-closed environment. In *2020 First International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies (SMARTTECH)*, pages 231–236.

Sheikh, A., McMenamin, J., Taylor, B., and Robertson, C. (2021). Sars-cov-2 delta voc in scotland: demographics, risk of hospital admission, and vaccine effectiveness. *The Lancet*, 397(10293):2461–2462.

Starr, J. and Kain, M. (2022). Agent-based simulation of social determinants of health for equitable covid-19 intervention. In *2022 7th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Science (ICIIBMS)*, volume 7, pages 319–326.

Uriu, K., Okumura, K., Uwamino, Y., Chen, L., Tolentino, J. E., Asakura, H., Nagashima, M., Sadamasu, K., Yoshimura, K., Ito, J., et al. (2025). Virological characteristics of the sars-cov-2 nb. 1.8. 1 variant. *The Lancet Infectious Diseases*.

Volz, E., Mishra, S., Chand, M., et al. (2021). Assessing transmissibility of sars-cov-2 lineage b.1.1.7 in england. *Nature*, 593(7858):266–269.

Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University.

Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems*. Wiley, Chichester, West Sussex, England, 2nd edition.