

An Agent-based Simulation to Study the Spread of COVID-19 in Ibirama(SC)

Lucas C. L. Teixeira¹, Fernando Santos¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Campus Alto Vale – Ibirama – SC – Brasil

lucas.teixeira@edu.udesc.br, fernando.santos@udesc.br

Resumo. A COVID-19 tem causado milhares de mortes mundialmente e prejuízos na economia dos países assolados pela pandemia. Neste artigo apresentamos uma simulação baseada em agentes para estudar a propagação da COVID-19 no município de Ibirama (SC). A simulação utiliza dados populacionais, educacionais e empresariais reais, e também o mapa real do município contendo as suas vias e localização das instituições de ensino e empresas. A simulação considera agentes estudantes e trabalhadores, que se movem pelo ambiente e interagem entre si. Diferentes cenários de isolamento social destes agentes foram simulados. Os resultados obtidos indicam que políticas de isolamento social são efetivas para reduzir a propagação do vírus.

Abstract. COVID-19 has caused thousands of deaths worldwide and undermined the economy of those countries which have been ravaged by the pandemic. In this paper, we present an agent-based simulation to study the propagation of COVID-19 in Ibirama (SC). The simulation uses real population, educational, and business data, as well as the actual map of the city containing its traffic network and location of educational institutions and businesses. The simulation considers students and workers agents, which move around the environment and interact with each other. Different social distancing scenarios of these agents were simulated. The results obtained indicate that social distancing policies are effective in reducing the spread of the virus.

1. Introdução

Simulações que fazem uso de agentes são usadas para entender padrões comportamentais de sistemas com certo nível de complexidade, já existente ou emergente. Nestas simulações, cada agente se comporta de forma autônoma, e estes agentes podem interagir entre si e com o ambiente. Simulações baseadas em agentes são utilizadas pois permitem incorporar explicitamente o comportamento único de cada indivíduo e as interações que existem entre eles [Macal and North 2014]. Além disso, a melhor correspondência semântica entre os elementos de uma simulação com agentes e os elementos do sistema em estudo simplifica o desenvolvimento de simulações [Edmonds 2001].

Simulações com agentes têm sido utilizadas para estudar a propagação de doenças. A propagação é influenciada pela heterogeneidade da população e por interações entre os indivíduos. Ao usar uma simulação com agentes neste contexto as interações entre os indivíduos fica limitada à localização geográfica dos mesmos, o que torna a simulação de propagação mais realista. Por exemplo, com uma simulação com agentes onde a interação

entre eles ficou limitada geograficamente, [Eisinger and Thulke 2008] demonstraram ser possível controlar a propagação de uma doença vacinando 10% menos indivíduos.

No final de 2019, em Wuhan, China, um novo tipo de coronavírus surgiu e se espalhou rapidamente entre os cinco continentes. A doença do coronavírus 2019 (conhecida como COVID-19) causou uma pandemia global. No momento em que este artigo é escrito, há mais de 23 milhões de pessoas infectadas e aproximadamente 810 mil mortes [World Health Organization 2020c]. Mundialmente há o desafio de encontrar soluções de forma rápida e confiável para que se possa dar o suporte necessário à tomada de decisões relacionadas a saúde pública. A ausência de um tratamento que se mostre completamente eficiente ou algum tipo de vacina juntamente com a acelerada propagação do vírus tem levado governos a tomarem como principal medida o isolamento social, além do uso obrigatório de máscaras, abertura somente de comércios essenciais, fechamento de instituições de ensino e locais que possivelmente pudessem causar uma aglomeração de pessoas [Agência Brasil 2020]. Estudos têm apontado o isolamento social como a medida mais eficiente para conter a propagação do vírus [Matrajt and Leung 2020]. Entretanto, governos também levam em consideração os efeitos colaterais, sociais e econômicos, causados pelo isolamento social que dificultam manter tais medidas por um longo período de tempo. Portanto, o isolamento deve ser adotado da forma mais eficiente possível, por exemplo, isolando-se apenas uma parcela da população ou apenas um setor da sociedade.

Este artigo apresenta uma simulação com agentes para estudar a propagação de COVID-19 no município de Ibirama, em Santa Catarina. Ibirama está localizada na região do Alto Vale do Itajaí, e sua população é de 17.330 pessoas, segundo o último censo [IBGE 2010]. O município conta com um hospital que oferece apenas 10 leitos de UTI. A simulação considera dados territoriais, populacionais, educacionais, e do mercado de trabalho existentes e estimados. Um agente é criado para cada habitante. Estes agentes reproduzem o comportamento diário dos habitantes de ir para o trabalho e/ou para instituição de ensino e então retornar para suas residências. Enquanto permanece no trabalho, escola, ou até mesmo em casa, um agente saudável pode ter contato com agente(s) infectado(s), ocasionando a propagação da doença.

A simulação permitiu estudar diferentes cenários de isolamento social. Experimentos foram realizados considerando isolamento social total bem como o isolamento setorial, onde apenas uma parcela de um setor da sociedade é isolado (por exemplo, isolamento apenas de estudantes ou trabalhadores). Os resultados indicam que o isolamento é efetivo para reduzir a propagação do vírus. Além disso, no cenário estudado os resultados indicam que isolar 25%, 50% ou 75% de apenas um setor (estudantes ou trabalhadores) quando o outro setor permanece sem qualquer isolamento não reduz a propagação.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Modelagem e Simulação baseada em Agentes

A modelagem e simulação baseada em agentes (ABMS) é um paradigma de simulação que utiliza agentes para analisar, reproduzir ou prever fenômenos normalmente complexos e emergentes [Klügl and Bazzan 2012]. Neste paradigma de simulação é possível focar nos indivíduos (agentes) e nos efeitos que o comportamento e as interações destes indivíduos podem causar no sistema — por exemplo, efeitos do isolamento de indivíduos infectados durante a propagação de uma epidemia.

De acordo com [Klügl and Bazzan 2012], uma simulação com agentes é formada por três elementos: um conjunto de agentes autônomos; a especificação das interações entre os agentes e ambiente, responsáveis por produzir a saída geral do sistema; e o ambiente simulado, que contém todos os demais elementos de simulação, como recursos e outros objetos sem comportamento ativo. O agente é uma entidade com autonomia que age, de maneira própria e sem interferências externas, responsivamente às situações em que é submetido durante a simulação [Macal and North 2014]. A interação de um agente com outros, assim como a interação do mesmo com o ambiente, viabiliza a observação de comportamentos e fenômenos que talvez não pudessem ser observados caso outro tipo de paradigma de simulação fosse adotado.

O paradigma ABMS vem se tornando cada vez mais reconhecido devido a sua eficiência demonstrada em diversas áreas a qual foi aplicado. Por exemplo, [Macal and North 2014] reportam uso de ABMS na área financeira, econômica, das ciências sociais, logística e das engenharias. Ainda segundo [Macal and North 2014], as atividades que um indivíduo executa no seu dia a dia podem ser modeladas diretamente em uma simulação com agentes, melhorando a correspondência semântica entre os elementos do sistema em estudo e a simulação.

Em paradigmas de simulação convencionais, as entidades frequentemente são transformadas em distribuições de probabilidades ou agregadas em variáveis, implicando em assumir certa homogeneidade espacial bem como homogeneidade entre os indivíduos da população. Estes pressupostos são razoáveis e válidos somente quando a população de indivíduos é extremamente grande, de modo que a heterogeneidade seja descartada pela “média”, ou a heterogeneidade não seja de interesse da simulação por não proporcionar ganhos. Por outro lado, estes pressupostos podem conduzir a uma demasiada simplificação do modelo, fazendo com que os resultados da simulação sejam inconsistentes [Klügl and Bazzan 2012]. Além disso, com ABMS é possível levar em consideração fatores espaciais, por exemplo, mapas geográficos com diferentes densidades demográficas por região, a localização de entidades (e.g., escolas, empresas) no ambiente, e a malha viária e seus efeitos na movimentação dos agentes.

2.2. COVID-19

Em dezembro de 2019, na cidade de Wuhan (China), casos de pneumonia de origem desconhecida causaram o alerta dos oficiais de saúde local [NCPERET 2020]. Investigações indicaram que a doença era causada por um novo tipo de coronavírus, classificado como coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2, do inglês *severe acute respiratory syndrome 2*) [Lu et al. 2020]. A doença ficou conhecida como COVID-19.

O vírus rapidamente se espalhou para outras regiões da China e para outros países. A rápida propagação do vírus e os altos números de infectados indicam que o SARS-CoV-2 é mais contagioso que outros tipos de coronavírus. A doença tem causado diversas mortes ao redor do mundo, e em 11 de março de 2020, foi declarada situação de pandemia global de COVID-19 [World Health Organization 2020a].

A COVID-19 pode ser transmitida por meio de gotículas quando uma pessoa espirra ou fala, e caso essas gotículas entrem contato com o sistema respiratório de outra pessoa pode haver a transmissão do vírus [World Health Organization 2020b]. Os sintomas mais comuns apresentados por aqueles que contraíram a COVID-19 são febre, dor de

garganta, tosse seca e falta de ar [Nakamura et al. 2020]. Pessoas idosas acima de 80 anos apresentaram a maior taxa de mortalidade entre todos os grupos estudados, e também foi observado que pacientes comórbidos apresentaram taxas de mortalidade muito maiores em relação a aqueles que não eram [NCPERET 2020].

A doença possui dois estágios: incubação e infecção [ECDC 2020]. O estágio de incubação se inicia no momento em que o vírus entra no organismo e começa a se espalhar pelo corpo. Este estágio tem duração média de 5 dias, e em casos mais raros esse período chegou a durar até 14 dias [ECDC 2020]. O estágio de infecção se inicia após o estágio de incubação. É caracterizado pela manifestação de sintomas da doença, e é durante este estágio que o indivíduo infectado transmite o vírus. A duração média do estágio infeccioso é de 8 dias, podendo chegar a 11 dias em casos mais severos [ECDC 2020]. Ao término do estágio infeccioso o indivíduo é considerado curado e adquire imunidade.

2.3. Trabalhos Relacionados

Simulações com agentes têm sido aplicadas para estudar a propagação de doenças e avaliar maneiras mais eficientes de prevenção. [Jacintho et al. 2010] estudaram a propagação da dengue no Brasil utilizando um modelo baseado em agentes que simula o processo de propagação da doença. São considerados aspectos como informação climática, estações do ano, alimentação e locais com água para a reprodução dos mosquitos, maior probabilidade de morte do agente em caso de múltiplas infecções (dengue hemorrágica).

Com relação a COVID-19, [Britton et al. 2020] analisaram o efeito da heterogeneidade populacional na imunidade de grupo. O estudo apontou que se medidas de isolamento forem relaxadas com a imunidade de grupo abaixo do ideal, há chances de ocorrer um segundo surto da doença. [Thompson et al. 2020] desenvolveram uma simulação com agentes para analisar a possibilidade de eliminação do vírus na Austrália e Nova Zelândia de acordo com políticas de saúde pública. O modelo leva em consideração os parâmetros da doença nos países escolhidos e os resultados mostram que o distanciamento social é a medida mais eficiente. O diferencial do presente trabalho é estudar a propagação da COVID-19 no município de Ibirama considerando os dados e dinâmicas locais.

3. Simulação da Propagação de COVID-19 em Ibirama

Nesta seção é detalhada a simulação de propagação de COVID-19 em Ibirama. São descritos a especificação e implementação da simulação, e os dados populacionais utilizados. O código-fonte e os valores de todos os parâmetros utilizados estão disponíveis online.¹

3.1. Especificação da População de Agentes

De acordo com o último censo demográfico, a população de Ibirama é de 17.330 habitantes [IBGE 2010]. Esta é a quantidade de agentes criados na simulação. Dados populacionais referentes a 2019 estão disponíveis no portal do IBGE. Entretanto, optamos por não utilizar os dados de 2019 visando manter coerência nas proporções de estudantes e domicílios em relação a população total, pois o IBGE não disponibiliza dados educacionais e domiciliares referentes a 2019, apenas referentes a 2010. Uma idade foi atribuída a cada agente, de acordo com a pirâmide demográfica² do município [IBGE 2010].

¹<https://github.com/agentsimulations/covid19-ibirama>

²<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ibirama/pesquisa/23/24304>

Categoria de ensino	Alunos	Instituições	Faixa etária dos alunos
Educação Infantil	449	12	de 0 a 5 anos
Ensino Fundamental I	1567	9	de 6 a 10 anos
Ensino Fundamental II	1078	5	de 11 a 14 anos
Ensino Médio	465	4	de 15 a 17 anos
Ensino de Jovens e Adultos	480	1	acima de 15 anos
Universidades	448	1	acima de 18 anos

Tabela 1. Categorias de ensino, alunos e instituições

Os habitantes de Ibirama foram separados em três categorias diferentes: *estudantes*, *trabalhadores* e *não economicamente ativos*. Para cada uma destas categorias foi definido um tipo de agente, com comportamento diário específico. Nos casos de habitantes que estudam e trabalham, seu comportamento contempla frequentar tanto o local de trabalho quanto de ensino. A seguir, descrevemos a especificação destes tipos de agentes.

3.1.1. Estudantes e Instituições de Ensino

De acordo com dados educacionais³ há 4487 alunos que frequentam instituições de ensino em Ibirama [IBGE 2010]. O IBGE estratifica os alunos de acordo com a categoria de ensino. Estas categorias de alunos são apresentadas na Tabela 1.

As instituições de ensino do município com as respectivas faixas etárias das categorias de ensino foram obtidas do portal Educa Mais Brasil⁴ e são mostradas também na Tabela 1. Como não há dados disponíveis sobre a quantidade de alunos em cada uma delas, a simulação faz uma distribuição aleatória. Cada agente estudante é atribuído a uma escola que oferece as aulas para a sua faixa etária. Na categoria *Ensino de Jovens e Adultos* os agentes atribuídos devem ter idade igual ou maior a 15 anos para respeitar as normas da Secretaria do Estado da Educação [SED SC 2020]. A localização das instituições de ensino foi obtida via Google Maps⁵. Para cada instituição é criada uma entidade que é posicionada de acordo com o seu respectivo ponto no Google Maps.

O comportamento diário dos agentes estudantes é organizado da seguinte forma:

1. Movem-se para a instituição de ensino no início do seu turno (mat, vesp, ou not).
2. Na instituição de ensino, os agentes infectados transmitem a doença para outros agentes (uma única vez durante o turno).
3. Voltam para casa ao fim do turno. Caso sejam trabalhadores, vão para local de trabalho.
4. Em casa, os agentes infectados transmitem a doença para outros agentes que moram no mesmo domicílio (uma única vez, até o início do próximo turno).

3.1.2. Trabalhadores e Empresas

Os dados empresariais foram obtidos de um relatório emitido pela Federação Catarinense de Municípios [FECAM 2019] em Março de 2019. O relatório aponta a existência de

³<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ibirama/pesquisa/23/22469>

⁴<https://www.educamaisbrasil.com.br/escolas/santa-catarina/ibirama>

⁵www.google.com/maps/d/edit?mid=1isUELXN4khxv8gzN_x9ghP3ib6Ab9uSb&usp=sharing

1418 CNPJs em Ibirama. A localização geográfica das empresas não está disponível na FECAM nem na prefeitura. Então, realizamos um levantamento manual no Google Maps para encontrar as empresas. Procuramos pelo nome de cada empresa para verificar a existência de um ponto já cadastrado no Google Maps. Infelizmente, nem todas as empresas estão cadastradas. Apenas 282 das 1418 (19,89%) foram encontradas⁶. Esta é a quantidade de empresas consideradas na simulação. A implementação das empresas na simulação ocorre de maneira similar às instituições de ensino.

Segundo resultados do censo sobre trabalho⁷ Ibirama conta com 9142 habitantes que trabalham em alguma empresa dentro do município [IBGE 2010]. Entretanto, não há dados disponíveis sobre a quantidade de trabalhadores em cada empresa. Portanto, solicitamos a um especialista da área contábil e com conhecimento das empresas de Ibirama⁸ que fizesse uma estimativa de quantos funcionários trabalham em cada uma das 282 empresas consideradas na simulação. A estimativa do especialista apontou 2462 trabalhadores. Disponibilizamos esta estimativa de trabalhadores por empresa online.⁹ Os 6680 trabalhadores restantes foram tratados como agentes não economicamente ativos.

O comportamento diário dos agentes trabalhadores é o seguinte:

1. Movem-se para a empresa no início do turno matutino.
2. Na empresa, os agentes infectados transmitem a doença para outros agentes (uma única vez durante os dois turnos de trabalho).
3. Voltam para casa ao fim do turno vespertino.
4. Em casa, os agentes infectados transmitem a doença para outros agentes que moram no mesmo domicílio (uma única vez, até o início do próximo turno).

3.1.3. Habitantes Não Economicamente Ativos

Os habitantes que não trabalham e nem estudam são tratados como agentes não economicamente ativos. Eles se mantêm em domicílio em tempo integral. A quantidade de agentes não economicamente ativos considerada é de 10.638, que corresponde ao total de habitantes de Ibirama descontando-se os estudantes e trabalhadores.

O comportamento diário dos agentes não economicamente ativos é o seguinte:

1. Permanecem em casa o tempo todo.
2. Caso sejam infectados, então transmitem a doença aos outros moradores do mesmo domicílio uma única vez ao dia (por exemplo, durante a noite).

3.2. Domicílios

A simulação considera 5515 domicílios, que são os locais de residência dos habitantes. Esta quantidade consta no censo sobre as características da população e dos domicílios¹⁰ [IBGE 2010]. Para cada domicílio é criada uma entidade *casa* posicionada na lateral de uma das ruas da estrutura viária da simulação. Cada agente habita uma destas casas, e a quantidade de agentes por casa segue a distribuição apresentada na Tabela 2.

⁶www.google.com/maps/d/edit?mid=1oSmpCIJzkWzKo-mdMAfmUI7tsTPptgT0&usp=sharing

⁷<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ibirama/pesquisa/23/22957>

⁸Professor Sérgio Marian (Departamento de Ciências Contábeis da UDESC Alto Vale)

⁹github.com/agentsimulations/covid19-ibirama/blob/master/data/empresas/README.md

¹⁰<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ibirama/pesquisa/23/24304>

Moradores	Domicílios	Moradores	Domicílios	Moradores	Domicílios
1	617	5	530	9	8
2	1457	6	213	10	7
3	1467	7	81	11	7
4	1094	8	34		

Tabela 2. Domicílios em Ibirama. Fonte: [IBGE 2010]

Devido a ausência de dados disponíveis no IBGE sobre a faixa etária dos habitantes em cada domicílio, a simulação faz uma distribuição aleatória. A simulação leva em consideração que menores de 16 anos de idade não podem morar sozinhos. Esta decisão foi baseada no Art. 3º do Código Civil Brasileiro [BRASIL 2002]. Deste modo, ao menos uma pessoa no domicílio deve ter idade igual ou superior a 16 anos.

3.3. Especificação da COVID-19

Conforme explicado na seção 2.2, a COVID-19 possui os estágios de incubação e infecção. Portanto, para modelar a propagação entre os agentes foi adotado o modelo epidemiológico compartimental SEIR [Keeling and Rohani 2008] que permite que o estágio de incubação possa ser analisado. Ao aplicar o modelo SEIR em uma simulação com agentes, cada agente é categorizado de acordo com seu estado de saúde em:

- (S)** *Suscetível*: o agente não foi exposto à doença, ou seja, nunca foi infectado.
- (E)** *Exposto*: o agente foi exposto à doença, e a doença está em período de incubação.
- (I)** *Infectado*: o agente é considerado doente (após o período de incubação), podendo manifestar os sintomas, transmitir para outros agentes, e eventualmente falecer.
- (R)** *Recuperado*: o agente se recuperou da doença (curado) e desenvolveu imunidade.

A dinâmica da doença ocorre com a transição do agente por estes estados. Os parâmetros da COVID-19 adotados na simulação para transição de estados são: duração da incubação (E) de 5 ou 6 dias [ECDC 2020]; duração da infecção (I) de 8 dias [ECDC 2020]; e probabilidade de transmissão de 0,3435 [SBI 2020]. A transmissão acontece mediante interação dos agentes infectados com suscetíveis. Esta interação ocorre nos locais onde o agente trabalha, estuda, ou reside. Um agente suscetível é infectado de acordo com a probabilidade de transmissão. Ao ser infectado, ele passa para o estado exposto e desenvolve a doença. Ao término do período infectado assumimos que o agente é considerado curado, desenvolvendo imunidade e passando para o estado recuperado.

A COVID-19 pode causar a morte do agente ao longo do estágio de infecção. A taxa de mortalidade depende da idade do agente. Nesta simulação foram adotadas as taxas de mortalidade por faixa etária da Tabela 3, observadas na China [NCPERET 2020].

3.4. Implementação

A simulação foi desenvolvida na plataforma NetLogo. A visualização da simulação é apresentada na Figura 1. Os dados territoriais e viários utilizados foram obtidos do Open Street Map¹¹ em Março de 2020. Foi considerada apenas a extensão territorial onde há ruas, o que resultou em uma extensão de aproximadamente 21,44 km de altura por

¹¹<https://www.openstreetmap.org/relation/296728>

Faixa Etária	Mortalidade(%)	Faixa Etária	Mortalidade (%)
≤ 9 anos	0,00%	60 a 69 anos	3,60%
10 a 19 anos	0,18%	70 a 79 anos	8,00%
20 a 49 anos	0,32%	≥ 80 anos	14,80%
50 a 59 anos	1,30%		

Tabela 3. Taxas de mortalidade utilizadas. Fonte: [NCPERET 2020]

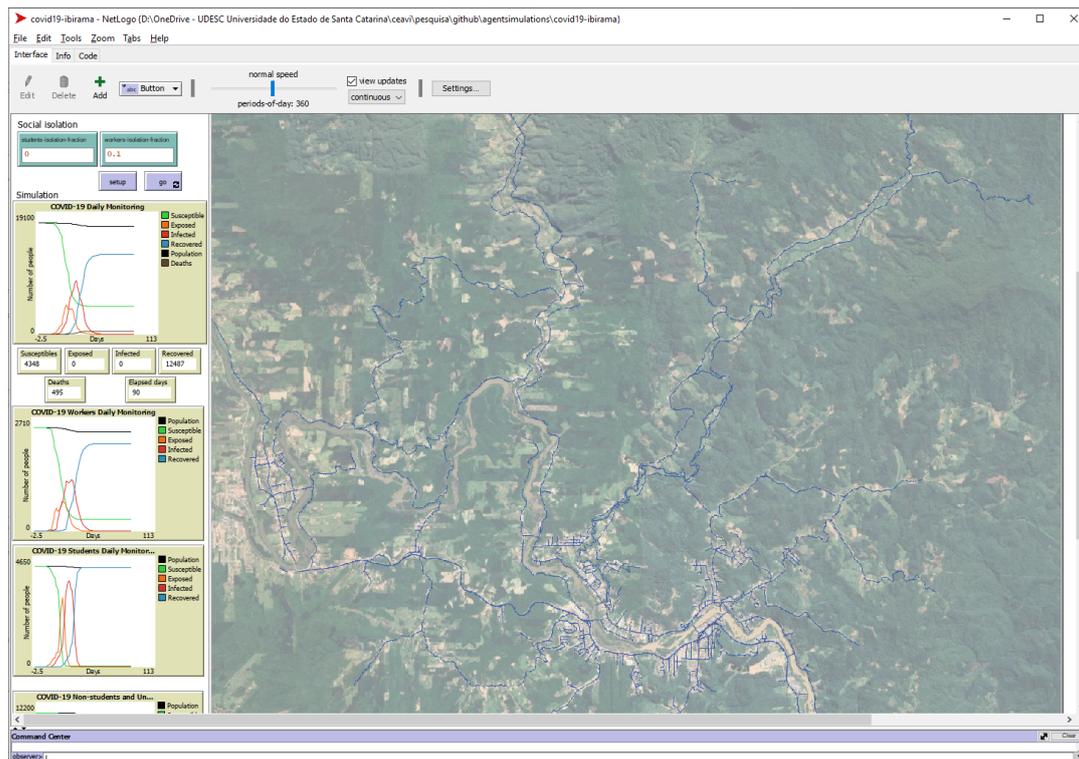


Figura 1. Implementação da simulação em NetLogo

14,36 km de largura. Esta extensão territorial foi implementada como uma grade em NetLogo, representando o território por onde os agentes se movimentam e onde estão localizadas as casas, escolas e empresas. A grade foi especificada de acordo com a extensão territorial da cidade, e contém 2144 células de altura e 1436 células de largura. Portanto, cada célula representa um quadrado de $100m^2$ do território.

4. Experimentos e Resultados

Experimentos foram realizados para estudar a propagação da COVID-19 em Ibirama. O objetivo é verificar o efeito do isolamento social total e também do isolamento setorial, onde apenas uma parcela de estudantes ou trabalhadores é isolada. Os agentes mesmo após serem infectados continuam a se movimentar na simulação a não ser que sejam incluídos na parcela de agentes que devem ficar em isolamento social. Cada experimento considerou um horizonte temporal de 90 dias. Em cada experimento, a simulação foi repetida 10 vezes para ser possível calcular a média dos resultados e assim mitigar os efeitos que a inicialização aleatória dos agentes pudesse causar. A população de agentes, bem como os parâmetros da COVID-19 utilizados são aqueles descritos previamente na

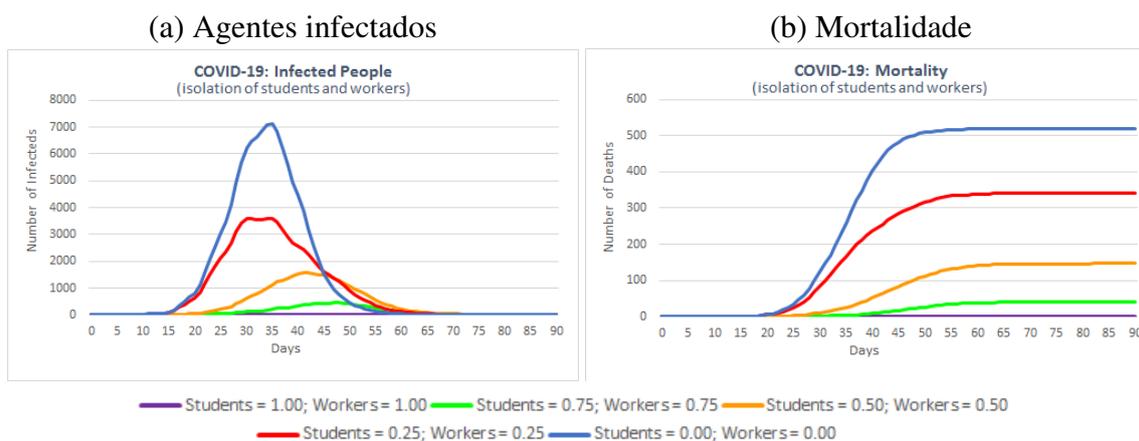


Figura 2. Isolamento social simultâneo de estudantes e trabalhadores

seção 3. Os experimentos consideram que o *paciente zero* é um único agente trabalhador.

No primeiro experimento foi simulado o isolamento social simultâneo de estudantes e trabalhadores. O percentual de isolamento considerado variou de 0% a 100% em intervalos de 25%. As Figuras 2 (a) e (b) apresentam a quantidade de agentes infectados e a mortalidade, respectivamente, ao longo do tempo. Estes resultados evidenciam a diferença na propagação da doença de acordo com o percentual de isolamento. O cenário com a menor quantidade de agentes infectados e mortos é aquele com isolamento total, ou seja, 100% de estudantes e 100% de trabalhadores. Neste cenário, a quantidade de agentes infectados é próxima de zero (linha roxa mostrada junto ao eixo inferior). No cenário oposto, onde não há isolamento dos estudantes nem dos trabalhadores, é onde observa-se a maior quantidade de agentes infectados e mortos.

Outros experimentos foram realizados, simulando o isolamento de um setor enquanto o outro permanece sem isolamento. As Figuras 3 (a) e (b) apresentam, respectivamente, a quantidade de infectados e mortes com isolamento apenas de estudantes. Já as Figuras 4 (a) e (b) apresentam estas quantidades com isolamento apenas de trabalhadores.

Ao observar a quantidade de agentes infectados (Figura 3 (a) e Figura 4 (a)) nota-se semelhança nas curvas de agentes infectados dos cenários que houve isolamento de 25%, 50% e 75% de apenas uma classe de agentes. Por exemplo, isolar 25% de estudantes e 0% de trabalhadores resulta em uma quantidade de infectados similar a isolar 25% de trabalhadores e 0% de estudantes. Isto dá indícios, no cenário estudado, de ser indiferente isolar 25%, 50% ou 75% de uma classe de agentes sem isolamento da outra classe.

Além disso, pode-se observar curvas acentuadamente diferentes ao isolar totalmente 100% de determinado setor. No cenário onde há o isolamento total somente de estudantes (Figura 3 (a), linha roxa) há um achatamento mais acentuado da curva de infectados quando comparado ao cenário onde há o isolamento total somente de trabalhadores (Figura 4 (a), linha roxa). Isso possivelmente ocorre devido a maior quantidade de estudantes existentes na simulação, o que sugere que quanto maior a quantidade de pessoas que aderem as medidas de isolamento menor será a curva epidêmica. Com o pico da curva epidêmica menor é possível ganhar mais tempo para o sistema de saúde lidar com os casos sem que haja uma superlotação de hospitais, levando um melhor tratamento

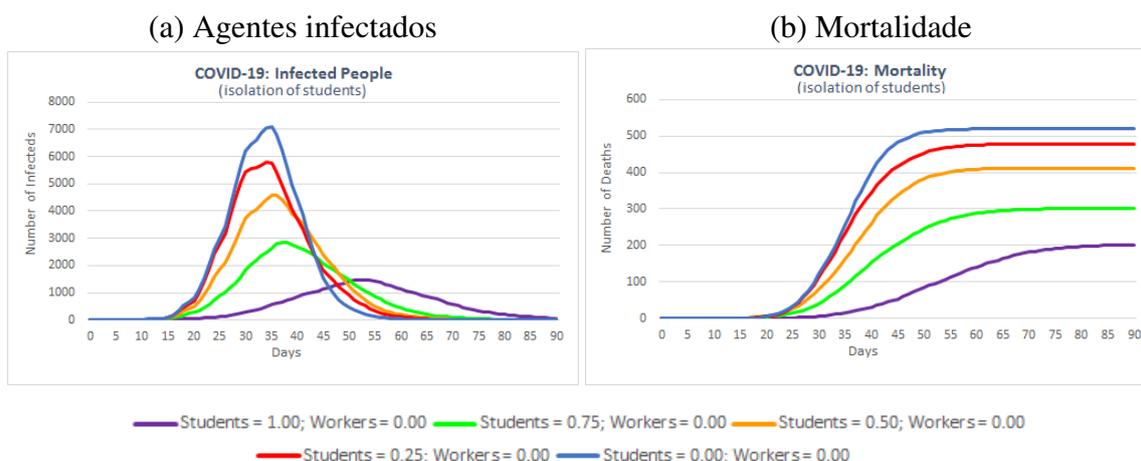


Figura 3. Isolamento social apenas de estudantes

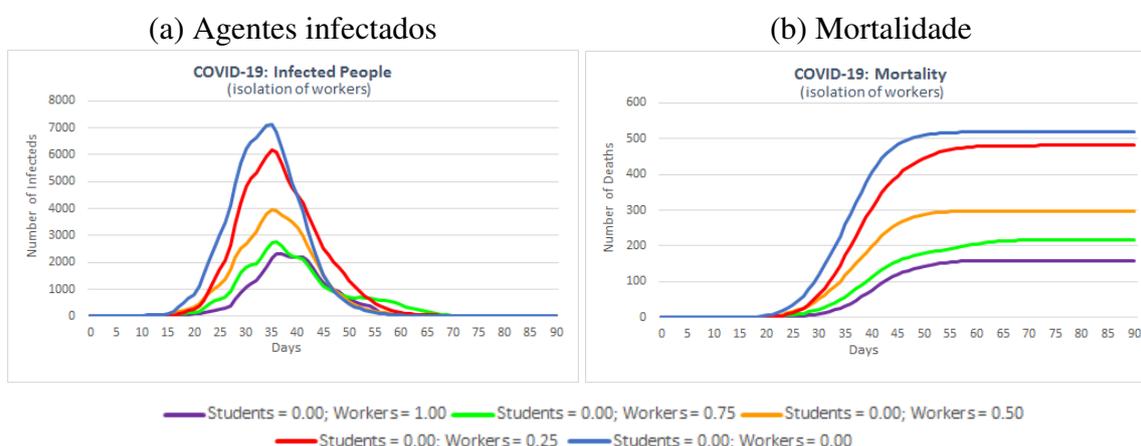


Figura 4. Isolamento social apenas de trabalhadores

para aqueles que se encontram em estado crítico por conta da doença.

Quando comparados os resultados de mortalidade é possível observar um crescimento mais acentuado na quantidade de mortos ao isolar 100% dos trabalhadores e 0% dos estudantes (Figura 4 (b), linha roxa) atingindo o pico de fatalidades em um período de tempo menor. Entende-se que isto está relacionado a quantidade de agentes de cada categoria existentes na simulação. Como dito anteriormente, a quantidade de estudantes na simulação é maior que trabalhadores. Os estudantes que não são isolados continuam frequentando a escola, eventualmente se infectando e propagando a doença aos agentes trabalhadores isolados mas que habitam a mesma residência. Por outro lado, quando nenhum trabalhador é isolado (Figura 3 (b)), nota-se quantidade de mortes superior mesmo nos casos em que o percentual de isolamento dos estudantes é igual ou superior a 50%. Isto ocorre por conta das taxas de mortalidade, visto que grande parte dos trabalhos têm idade superior a 16 anos e portanto se enquadra nas faixas etárias com maior mortalidade.

Por fim, ressalta-se que os resultados destes experimentos somente são válidos para os cenários simulados. Apesar do cuidado na implementação da simulação e com os dados utilizados, em caso de propagação da COVID-19 em Ibirama, a real quantidade de

infecções e a mortes poderá ser diferente. Isto porque o comportamento dos habitantes poderá variar (e.g. aqueles que recebem indicação para se manterem isolados desrespeitarem o isolamento, contribuindo para um possível aumento da propagação do vírus).

5. Conclusões

Neste artigo apresentamos uma simulação com agentes para estudar a propagação de COVID-19 no município de Ibirama, em Santa Catarina. Visando obter fidelidade da simulação à realidade, foram utilizados dados territoriais, populacionais, educacionais, e do mercado de trabalho de fontes como Open Street Maps, Google Maps, IBGE, Federação Catarinense de Municípios, e o portal Educa Mais Brasil. Já os parâmetros da COVID-19 utilizados referentes ao período de incubação, transmissibilidade e mortalidade são provenientes da Sociedade Brasileira de Infectologia e do Centro Europeu de Prevenção e Controle de Doenças. A simulação foi implementada em NetLogo.

Os experimentos evidenciaram a eficiência do isolamento social para reduzir a quantidade de infectados e mortalidade, principalmente quando aderido por toda a população. Nos casos de isolamento setorial (apenas estudantes ou trabalhadores) os experimentos mostraram ser indiferente isolar 25%, 50% ou 75% de apenas um setor se o outro setor permanece sem nenhum isolamento nos cenários estudados. Como trabalhos futuros, pretende-se atualizar a simulação à medida em que novos dados científicos sobre a COVID-19 específicos do Brasil e de Santa Catarina estejam disponíveis, explorar cenários com vários pacientes zero e conduzir análises detalhadas da mortalidade.

Referências

- Agência Brasil (2020). Senado aprova uso obrigatório de máscaras em todo país. <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2020-06/senado-aprova-uso-obrigatorio-de-mascaras-em-todo-pais>>. Acesso em: Jun/2020.
- BRASIL (2002). Decreto-lei 10.406, de 10 de janeiro de 2002. <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406.htm>. Acesso em: Abr/2020.
- Britton, T., Ball, F., and Trapman, P. (2020). A mathematical model reveals the influence of population heterogeneity on herd immunity to sars-cov-2. *Science*, 369(6505):846–849.
- ECDC (2020). European Centre for Disease Prevention and Control - Guidance for discharge and ending isolation in the context of widespread community transmission of COVID-19. <www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/covid-19-guidance-discharge-and-ending-isolation-first%20update.pdf>. Acesso em: Abril/2020.
- Edmonds, B. (2001). The use of models-making MABS more informative. In *International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation (MABS)*, pages 15–32, Boston, USA.
- Eisinger, D. and Thulke, H.-H. (2008). Spatial pattern formation facilitates eradication of infectious diseases. *Journal of Applied Ecology*, 45(2):415–423.
- FECAM (2019). Federação Catarinense de Municípios: Relatório empresas Ibirama. <https://static.fecam.net.br/uploads/72/arquivos/1444231_Relatorio_Empresas_Ibirama.pdf>. Acesso em: Abr/2020.

- IBGE (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo Demográfico 2010. <cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ibirama/pesquisa/23/27652>. Acesso em: Abr/2020.
- Jacinto, L. F., Batista, A. F., Ruas, T. L., Marietto, M. G., and Silva, F. A. (2010). An agent-based model for the spread of the dengue fever: a swarm platform simulation approach. In *Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference*, pages 1–8.
- Keeling, M. J. and Rohani, P. (2008). *Modeling infectious diseases in humans and animals*. Princeton University Press.
- Klügl, F. and Bazzan, A. L. C. (2012). Agent-based modeling and simulation. *AI Magazine*, 33(3):29–40.
- Lu, R., Niu, P., Zhao, L., Wang, H., Wang, W., and Tan, W. (2020). Sequencing the complete genome of COVID-19 virus from clinical samples using the sanger method. *China CDC Weekly*, 2:447.
- Macal, C. and North, M. (2014). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. In *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, WSC '14*, pages 6–20, Piscataway, NJ, USA. IEEE Press.
- Matrajt, L. and Leung, T. (2020). Evaluating the effectiveness of social distancing interventions to delay or flatten the epidemic curve of coronavirus disease. *Emerging Infectious Disease*, 26(8).
- Nakamura, K., Ide, S., Saito, S., et al. (2020). Covid-19 can suddenly become severe: a case series from Tokyo, Japan. *Global Health & Medicine*.
- NCPERET (2020). The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team - the epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (covid-19). *China CDC Weekly*, 2(8):113–122.
- SBI (2020). Informe da Sociedade Brasileira de Infectologia (SBI) sobre o novo coronavírus. <<https://www.infectologia.org.br/admin/zcloud/principal/2020/03/Informativo-CoV-12-03-2020.pdf>>. Acesso em: Abr/2020.
- SED SC (2020). SED - Secretaria de Estado da Educação - Educação de Jovens e Adultos - SC. <<http://sed.sc.gov.br/servicos/etapas-e-modalidades-de-ensino/29-modalidade-de-ensino/6617-educacao-de-jovens-e-adultos>>. Acesso em: Abr/2020.
- Thompson, J., McClure, R., Blakely, T., et al. (2020). Modelling the likelihood of eliminating the SARS-CoV-2 pandemic in australia and new zealand under current public health policy settings: An agent-based-seir modelling approach. <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3588074> >. Acesso em: Jun/2020.
- World Health Organization (2020a). Coronavirus disease 2019 (covid-19) situation report–51. <www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200311-sitrep-51-covid-19.pdf>. Acesso em: Jun/2020.
- World Health Organization (2020b). Q&A on coronaviruses (covid-19). <www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/q-a-coronaviruses>. Acesso em: Jun/2020.
- World Health Organization (2020c). WHO coronavirus disease (COVID-19) dashboard. <<https://covid19.who.int>>. Acesso em: Ago/2020.