

# Nota técnica

## Quantificando o impacto da reabertura escolar durante a pandemia de covid-19

Modelagem para a retomada de aulas presenciais em escolas públicas

4 de Maio de 2021

### Equipe

Prof. Claudio Struchiner - FGV e UERJ

Prof. Tiago Pereira - USP

Prof. Krerley Oliveira - UFAL

Prof. Sérgio H. A. Lira - UFAL

Guilherme T. Goedert - Univ. Roma "Tor Vergata", RWTH Aachen e Cyprus Institute

Juliano Genari

Ismael Ledoino - LNCC

Lucas Resende - IMPA

Edmilson Roque dos Santos - USP

### Contato

Prof. Sérgio H. A. Lira - [sergio@fis.ufal.br](mailto:sergio@fis.ufal.br)

## Apresentação

A presente colaboração multi-institucional foi primeiramente estabelecida como parte do projeto ModCovid19 [15], selecionado pelo Instituto Serrapilheira em uma chamada de projetos emergenciais para análise da crise sanitária da COVID-19 e desenvolvimento de medidas de contenção apropriadas à realidade brasileira. Este projeto tem sido coordenado pelos Professores Claudio Struchiner (FGV e UERJ) e Tiago Pereira (USP).

Modelagem e desenvolvimento para o COMORBUSS é realizada sob a supervisão de Guilherme Tegoni Goedert<sup>1</sup> (Univ. Roma “Tor Vergata”, RWTH Aachen Univ. e Cyprus Institute), juntamente com os desenvolvedores Ismael Ledoino (LNCC) e Juliano Genari. Análise de dados e calibração do modelo foram realizadas por Lucas Resende (IMPA) e Edmilson Roque dos Santos (USP). Infraestrutura computacional para simulações fornecida pelo grupo Fluid do professor Dan Marchesin (IMPA).

COMORBUSS utilizou dados demográficos, socioeconômicos e epidemiológicos de um município escolhido como estudo de caso: Maragogi-AL (33 mil hab.). Estes dados foram obtidos e processados pelo Laboratório LED-UFAL, sob coordenação dos professores Krerley Oliveira e Sérgio H. A. Lira, no escopo de uma parceria técnico-científica entre a UFAL e a Prefeitura Municipal de Maragogi (convênio firmado em maio de 2020). A equipe LED-UFAL trabalhou de maneira integrada com funcionários da vigilância epidemiológica e agentes da saúde de Maragogi. Este trabalho foi desenvolvido com participação dos professores Adriano Barbosa (UFGD) e Thales Vieira (UFAL), e dos estudantes bolsistas do LED-UFAL: Allysson José, Valerio Nogueira, Hugo Thallys, José Augusto e Mauricio Maciel.

## Resumo executivo

Neste relatório técnico descrevemos os resultados de simulações computacionais científicas utilizando o modelo de agentes COMORBUSS e calibradas com dados reais de infecções da COVID-19 na cidade de Maragogi/AL. Em particular, investigamos o impacto da reabertura de aulas presenciais em escolas do ensino fundamental quantificando numericamente o número esperado de infectados dentro da comunidade escolar (estudantes, professores e demais funcionários da escola). Destacamos que as salas de aula nas escolas estudadas são fechadas e contam com aparelhos de ar condicionado para circulação; isto propicia o contágio por aerossóis acumulados. **Garantir a ampla circulação aérea é uma medida essencial.** Foram considerados 4 cenários e 6 ações:

- 1) Cenário A - Contágio comunitário com escolas fechadas;
- 2) Cenário B - Reabertura com turmas e horários reduzidos: turno escolar de 2 horas, turmas separadas em dois grupos, com aulas presenciais em dias intercalados.
- 3) Cenário C - Reabertura reduzida com funcionários imunes: turno escolar de 2 horas, turmas separadas em dois grupos, com aulas presenciais em dias intercalados, funcionários imunizados.

---

<sup>1</sup> apoiado por STIMULATE EJD, programa de pesquisa e inovação parte do Horizon 2020 da União Europeia sob o contrato de subvenção n. 765048.

- 4) Cenário D - Reabertura reduzida com monitoramentos e fechamentos temporários: turno escolar de 2 horas, turmas separadas em dois grupos, com aulas presenciais em dias intercalados, estudantes são testados e isolados (14 dias) quando sintomáticos ou quando familiar for confirmado positivo, se estudante for confirmado positivo, seu grupo é suspenso por 14 dias, se mais de um grupo apresentar estudantes positivos, a escola é fechada por 7 dias.

Os principais resultados obtidos foram:

- Uma reabertura sem nenhuma medida de monitoramento, mesmo com turmas reduzidas, pode aumentar o total de infectados na população escolar em até 270% em 80 dias de funcionamento escolar. **Redução de atividades e turmas claramente não é suficiente para garantir retomada segura de atividades presenciais.**
- **Vacinação de profissionais é uma medida essencial para potencializar o efeito da redução de turmas (Cenário C).** Ainda assim, somente a imunização de funcionários não é suficiente para barrar a cadeia de contágio em ambiente escolar: o número de infecções na comunidade escolar aumenta em 178% quando comparado à situação de escolas fechadas.
- **Nossas simulações indicam que um protocolo de monitoramento ativo, com detecção e isolamento de casos, aliado a atividades reduzidas (Cenário D) mostra-se bastante seguro,** tendo aumento relativo de casos de 18% em comparação com o cenário A de escolas fechadas. No entanto, as simulações indicam que com este protocolo as escolas passam em média 40% do tempo fechadas. Levando em conta o fechamento extra de turmas, cada aluno teve em média apenas 2,5 horas de aula semanais.

Assim, o início de aulas presenciais sem medidas de monitoramento de casos e protocolo de resposta podem oferecer riscos à comunidade escolar (funcionários das escolas e estudantes) e potencialmente agravar a situação do sistema de saúde. **Além de protocolos de higiene e uso de máscaras, as escolas precisam estar preparadas para detectar casos dentro do ambiente escolar, pois eles inevitavelmente aparecerão em estudantes, professores e demais funcionários.**

## Sumário

1. Introdução
2. Metodologia
  - A. COMORBUS: modelo epidemiológico bio-social de agentes
  - B. Calibração em Maragogi: um caso típico brasileiro
3. Resultados
  - A. Contágio comunitário com escolas fechadas
  - B. Reabertura com turmas e horários reduzidos
  - C. Reabertura reduzida com funcionários imunes
  - D. Reabertura reduzida com monitoramentos e fechamentos temporários
4. Conclusões e recomendações
5. Referências

## Introdução

O bom funcionamento do sistema educacional é peça fundamental para o desenvolvimento sociointelectual em médio e longo prazo, bem como é importante para o bem-estar e segurança física e mental das crianças e adolescentes, promovendo interações sociais e estímulos necessários para os jovens em formação. Em comunidades menos favorecidas, até mesmo a segurança nutricional é correlacionada com o provimento de merenda escolar.

Contudo, considerando a estrutura física das salas de aula, os contatos frequentes no decurso da jornada escolar e a prevalência de sintomas brandos entre crianças, a abertura de aulas presenciais e funcionamento de escolas torna-se uma grande preocupação em um cenário de pandemia descontrolada em uma comunidade.

**Dada a importância desse equipamento social, a decisão sobre como e quando abrir ou fechar escolas deve-se basear nos melhores conhecimentos científicos disponíveis, tentando maximizar o tempo de funcionamento desses estabelecimentos sem comprometer a segurança dos estudantes e comunidade escolar.**

Neste trabalho, empregamos simultaneamente ferramentas estado-da-arte em modelagem e monitoramento epidemiológicos para avaliar os efeitos da reabertura escolar em Maragogi-AL, uma cidade representativa de um grande segmento típico de municípios brasileiros. O modelo utilizado, chamado COMORBUSS, é um modelo bio-social de agentes que permite acessar a história completa de cada infecção da comunidade simulada, além de modelar diretamente os cenários de contenção propostos e medir seus efeitos. Nosso modelo foi calibrado por meio da rica base de dados produzida pelo consórcio entre a prefeitura municipal de Maragogi e o laboratório LED da UFAL.

Apresentamos, neste relatório, nossos resultados sobre o efeito da reabertura escolar, mostrando que uma **reabertura responsável e segura é possível, contanto que sejam estabelecidos protocolos reativos de resposta a casos suspeitos e fechamento intermitente de turmas**. É essencial que estas e demais medidas não sejam adotadas de forma excludente a medidas passivas: redução da jornada escolar, estabelecimento de grupos autocontidos de estudantes e professores (grupos-bolha). **Redução de turmas e vacinação de profissionais são essenciais para potencializar os efeitos de protocolos de segurança e minimizar o tempo de fechamento requerido por estas medidas.**

No que segue, apresentamos nossa metodologia de modelagem e argumentamos como a cidade estudada pode ser interpretada como representativa da realidade média brasileira. Em seguida, apresentamos resultados para os cenários de reabertura em regime reduzido, em regime reduzido com profissionais imunizados e em regime reduzido complementado por nossa proposta de protocolo de monitoramento e resposta (vide Figura 1 que ilustra os principais pontos do protocolo). O número de infecções na comunidade escolar em cada um desses cenários é comparado com o número produzido apenas pelo contágio comunitário (sem escolas). Destacamos que apenas duas escolas são reabertas e monitoradas nas simulações que servem como modelo piloto, sendo as duas maiores escolas situadas no centro da cidade. Os cenários também refletem a considerável redução das atividades sociais na primeira onda de 2020, utilizada para calibração.

## Estudos de casos de reaberturas em escolas

Devido à pandemia de Covid-19, a UNICEF estima que 168 milhões de estudantes em 14 países praticamente não tiveram acesso a aulas devido ao período em que as escolas permaneceram fechadas [1]. Em particular, no Brasil as escolas permaneceram fechadas em tempo integral em média por 191 dias no último ano, enquanto que na Europa Ocidental este período médio foi de apenas 52 dias. O relatório da UNICEF aponta também que no Brasil cerca de 44,3 milhões de crianças perderam pelo menos 75% do tempo que deveria ser oferecido para educação. Estes números revelam o enorme impacto que a pandemia e o fechamento de escolas provocaram na educação infantil e aumentam a urgência de retomada de aulas presenciais ou semipresenciais em países como o Brasil.

Diante das consequências negativas tanto físicas quanto mentais para os estudantes, juntamente ao déficit educacional do fechamento de escolas, a agência da ECDC aponta que medidas de mitigação da transmissão são necessárias a fim de que os estudantes possam ter um ambiente de socialização e aprendizado seguro [2]. Dentre as medidas recomendadas estão: distanciamento social e redução de turmas; uso de máscaras e ventilação de ambientes; comunicação de casos suspeitos e engajamento comunitário; testagem e rastreamento de casos de covid-19 para prevenir a cadeia de contágio [2].

Em muitos países onde houve monitoramento da reabertura de aulas presenciais em escolas, numerosos surtos têm sido reportados relacionados diretamente às atividades escolares [2]. Estas experiências internacionais têm demonstrado que uma reabertura de aulas presenciais em larga escala, sem muitas medidas de mitigação eficazes da transmissão, oferece considerável risco de contágio para a comunidade escolar, especialmente entre funcionários e familiares [3]. As medidas de mitigação devem envolver: evitar mistura de grupos de estudantes, distanciamento social e quarentena de grupos de estudantes expostos, máscaras para estudantes e funcionários, adequação da ventilação de espaços fechados, apoio no isolamento de casos confirmados, vacinação de grupos de risco, testagem eficiente como complementação do monitoramento de casos [3].

Um exemplo de estratégia de testagem dos estudantes para escolas foi adotado na Inglaterra. Desde 8 de Março de 2021 as atividades presenciais do Ensino Médio foram retomadas e o protocolo exige que os adolescentes usem máscaras durante as aulas e façam o autoteste com testes rápidos de antígenos (*lateral flow test*) para Covid-19. A partir dos resultados destes testes, a base de dados é atualizada e analisada pelo serviço público de saúde a fim de moldar semanalmente a tomada de decisões perante a pandemia [4].

Nos EUA, um estudo recente que levantou dados de 50 estados do país acerca da retomada escolar concluiu que é possível retomar aulas presenciais em meio à pandemia de covid-19, mas isso requer adoção de diversas medidas de contenção de infecções [5]. Além disso, o estudo aponta que morar numa casa com uma criança que vai presencialmente à escola aumenta em até 38% o risco de um indivíduo se infectar, e que há uma chance 1,8 vezes maior de contágio em professores escolares que trabalham fora de casa comparada aos que trabalham de casa. No entanto, quando diversas medidas de prevenção do contágio são adotadas em aulas presenciais, esse risco praticamente desaparece, mostrando que é possível uma retomada segura se ela for bem planejada.

No Brasil, na ausência de uma diretriz nacional clara de condução de aulas presenciais ou semipresenciais, estados e municípios adotaram critérios e protocolos variados para a retomada escolar. O Estado de São Paulo foi um dos primeiros a adotar a suspensão das atividades de ensino no ano passado, atingindo a totalidade das instituições em 23 de março de 2020. Em 8 de fevereiro de 2021 foi iniciado o ano letivo para os estudantes e profissionais da rede estadual, com as escolas abertas para atividades e aulas presenciais para todas as etapas de ensino, com número reduzido de estudantes. De acordo com o governo estadual, cerca de 600 mil estudantes e 255 mil funcionários participaram das aulas presenciais na primeira semana [6]. Graças a um sistema de notificação implantado na rede de educação do estado, até 6 de março de 2021 um total de 4.084 casos positivos foram notificados, localizados em 42% das escolas reabertas, e sendo 62% das confirmações em funcionários e professores de escolas [7]. Além disso, houve registro de 21 óbitos, sendo 2 alunos e 19 servidores. Isso nos mostra que cerca de 1% dos funcionários foram confirmados para Covid-19 em 27 dias, e neste grupo a letalidade ficou em 0,75%. Estes resultados levantam a discussão se os protocolos atualmente adotados são suficientemente seguros para os profissionais do ensino [8].

Diante destas evidências, ressaltamos que atualmente ainda não há diretrizes nacionais claras que garantam uma retomada segura de aulas presenciais e semipresenciais nas escolas públicas brasileiras. Para analisar esta questão de maneira quantitativa, nosso grupo realizou simulações computacionais científicas de cenários de retomada em escolas públicas reais do município de Maragogi-AL. Nossos resultados corroboram que sem medidas adequadas há um aumento considerável do risco de contágio para a população escolar. Também exploramos cenários em que medidas de mitigação adequadas são adotadas através de um protocolo de monitoramento seguro para retomada de aulas presenciais (Figura 1) e constatamos que este conjunto de medidas combinadas reduz bastante o risco de infecção nas escolas. Em particular, destacamos que nosso protocolo inclui elementos apontados como fundamentais em estudos internacionais [3b,4b] e que ainda não são amplamente adotados, tais como: promoção de grupos-bolha de estudantes para evitar o contato físico cruzado entre turmas, investigação de ocorrências dentro da escola por coordenadores, utilização de testagem como complementação da investigação de casos nas escolas, suspensão temporária de turmas caso um indivíduo deste grupo seja confirmado para covid-19.

# Protocolo para Escolas



Figura 1: Infográfico esquemático sobre os principais elementos do protocolo de monitoramento seguro para retomada de aulas presenciais, elaborado por LED-UFAL e colaboradores do projeto “Colaborar na elaboração de protocolos para a reabertura das escolas do ensino fundamental no município de Maragogi – AL durante a pandemia da COVID-19”.

## Metodologia

### COMORBUSS: modelo epidemiológico bio-social de agentes

COMORBUSS é um modelo computacional para estudo da propagação de doenças transmissíveis por contatos, que leva em consideração a dinâmica social de uma comunidade, desenvolvido pelo nosso grupo de pesquisa [16]. COMORBUSS (COMMunitary Malady Observer of Reproduction and Behavior via Universal Stochastic Simulations) trata-se de um modelo bio-social de agentes (unidades representativas da comunidade), **onde cada agente possui uma identidade, rotina e representação biológica próprios, bem como um papel social individual**. Isto significa que cada agente possui uma identidade, residência, família, idade, trabalho etc. Todos estes atributos são distribuídos pela comunidade de modo a respeitar a demografia e mimetizar as distribuições reais na comunidade modelada.

Uma comunidade é caracterizada não apenas pelo conjunto das identidades de seus membros, mas também pela sua infraestrutura. Argumentamos que a rede de serviços disponível em uma cidade (escolas, mercados, hospitais, restaurantes, lojas etc.) é a componente da infraestrutura que serve de motor para a dinâmica social de uma

comunidade, estabelecendo rotinas de trabalho e de utilização de cada serviço. **Modelamos estocasticamente a rede de serviços e seus padrões de prestação e consumo em comunidades gerais, e por meio deste modelo produzimos organicamente encontros entre agentes individuais (Figura 2). Estes encontros são o mecanismo primário de propagação da doença.**

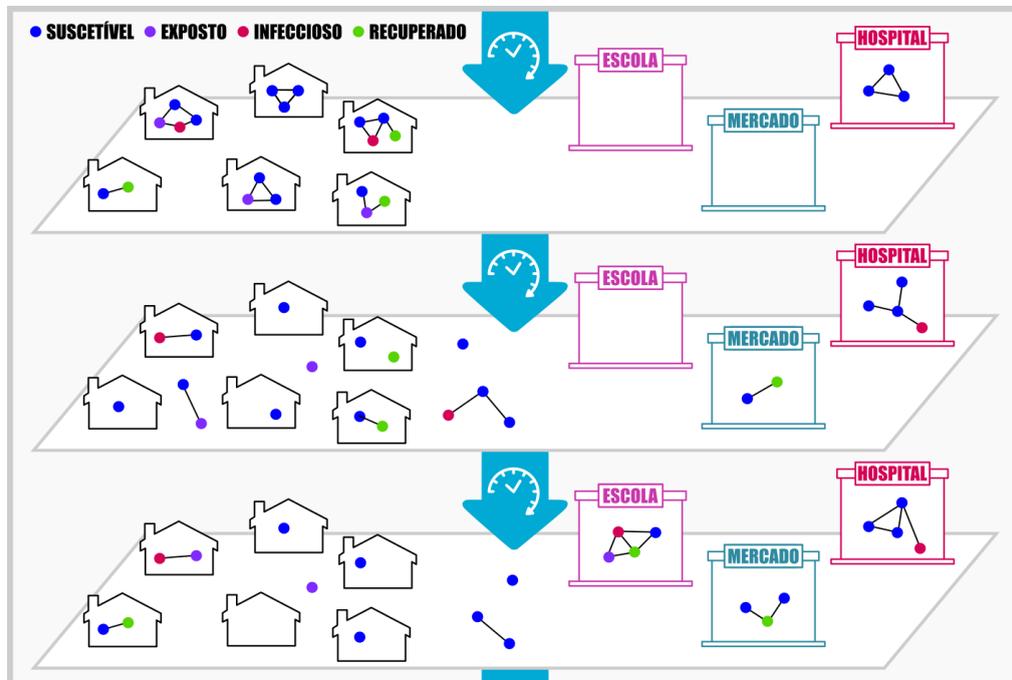


Figura 2. Esquema representativo da dinâmica social do COMORBUSS, produzindo contatos entre indivíduos em diferentes contextos sociais. Os círculos representam indivíduos de uma comunidade, as cores ilustram seu estado de infecção e as linhas representam contatos físicos relevantes capazes de produzir contágios.

A vantagem distinta do COMORBUSS é sua modelagem detalhada e orgânica da dinâmica social. **Isto permite modelar diretamente medidas de contenção por meio de mudanças no comportamento comunitário e avaliar a efetividade de diversos cenários.** Neste relatório empregamos esta funcionalidade para avaliar o efeito da reabertura escolar sob diferentes protocolos: abertura sem intervenção, uso de turmas e horários reduzidos, protocolo de notificação e fechamento parcial, e abertura reduzida com profissionais imunizados. Salientamos que, sob as condições estruturais das salas de aula (fechadas, com circulação reduzida de ar e pessoas), o modelo de contatos mais apropriado é baseado no acúmulo de aerossóis [25].

Cada agente é caracterizado biologicamente em detalhes. **Além de seu estado individual, cada indivíduo é caracterizado por sua idade e possui suscetibilidade, probabilidade de desenvolver sintomas ou vir a óbito dependentes desta idade.** Em geral, um agente é iniciado no estado Suscetível e, após encontrar um outro indivíduo em fase infecciosa (Pré-Sintomático, Assintomático e Sintomático Leve ou Severo), passa por um sorteio aleatório que leva em conta sua suscetibilidade e a probabilidade comunitária de infecção. Sendo aprovado neste teste, o estado do indivíduo suscetível torna-se Exposto, representando um portador ainda não infeccioso do patógeno. Após um período apropriado, este agente torna-se infeccioso, mas Pré-Sintomático e, após um período de ativação, seu estado é convertido para os estados Assintomático, Sintomático Leve ou Severo. A

distribuição entre estes compartimentos é aleatória mas reflete as estatísticas reais [12, 15]. Após um período aleatório que são também baseadas em observações empíricas, agentes deixam de ser infecciosos e têm seu estado convertido para Recuperado ou, se parte do compartimento Severo, possivelmente para Falecido. Este fluxo de transição entre estados é resumido na Figura 3.

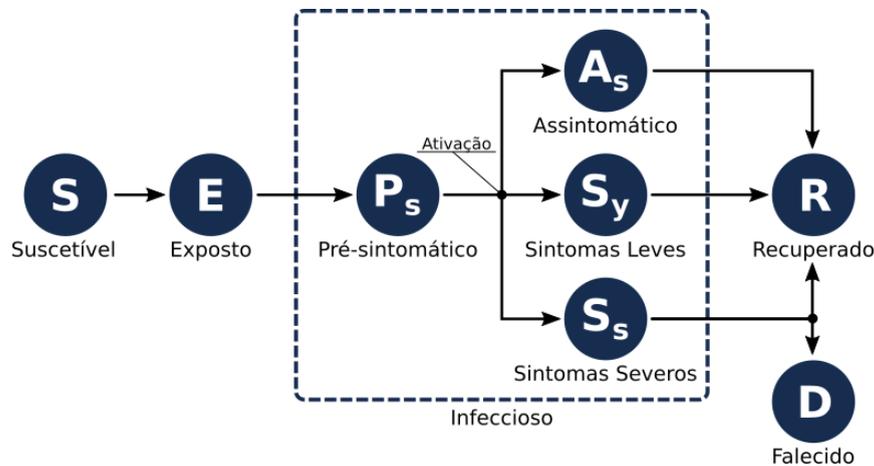


Figura 3: Diagrama de transição de estados para um agente.

### Calibração em Maragogi: um caso típico brasileiro

No que segue, argumentamos como a cidade de Maragogi pode ser vista como representante da realidade média brasileira, permitindo estender nossas observações e conclusões. Calibramos nosso modelo para a primeira onda de Maragogi (de março a julho de 2020) e utilizamos a visão detalhada do COMORBUSS para identificar os contextos sociais mais significativos para propagação viral.

No censo de 2010, a cidade de Maragogi contava com 28749 habitantes, sendo que hoje estima-se uma população por volta de 33 mil habitantes [30]. Na Figura 3 é possível observar que **a faixa de tamanho populacional entre 10 mil e 50 mil habitantes, que contém Maragogi próxima ao seu centro, corresponde a quase metade dos municípios brasileiros.**

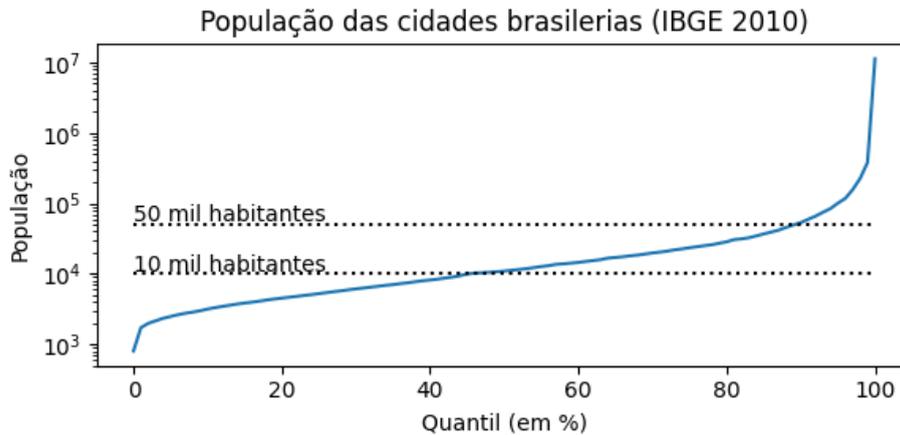


Figura 4: População total das cidades brasileiras em função da proporção de municípios que possuem total de habitantes menor ou igual que tal população total (IBGE 2010).

Essa faixa corresponde a um conjunto de municípios com algumas semelhanças quanto a sua dinâmica populacional:

- Como são municípios pequenos e relativamente compactos, vetores como o transporte público tem pouca ou nenhuma relevância;
- São municípios com adensamentos populacionais menores e menor verticalização;
- Há grande intercâmbio com cidades vizinhas, com migração pendular desses municípios para outros maiores;
- Há forte dependência de grandes centros para obtenção de tratamento médico;
- Embora as populações sejam pequenas, **são grandes o suficiente para que suas estatísticas sejam significativas e não se confundam com flutuações aleatórias, podendo indicar caminhos para construção de políticas públicas.**

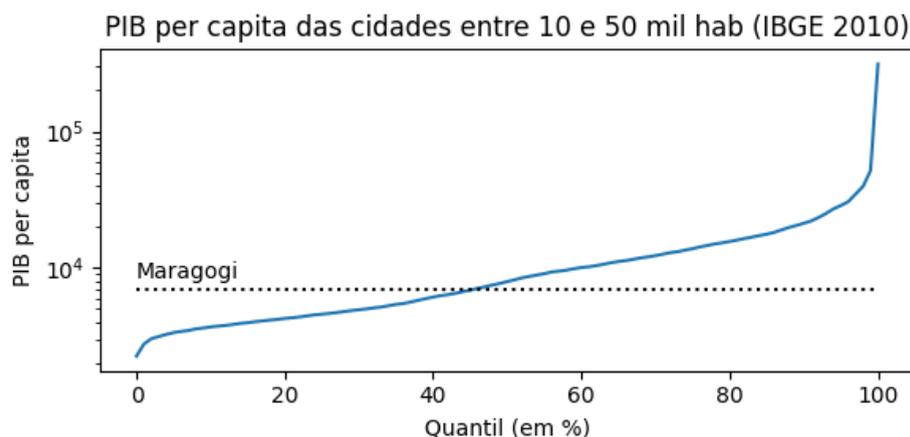


Figura 5: PIB per capita das cidades brasileiras entre 10 e 50 mil habitantes em função da proporção de municípios que possuem PIB menor ou igual que tal PIB total (IBGE 2010).

A faixa das cidades entre 10 e 50 mil habitantes compreende 44% das cidades brasileiras, sendo que dessas 8% estão na região Norte, 42% no Nordeste, 26% no Sudeste, 8% no Centro-Oeste e 16% no Sul. Restringindo a análise a essa faixa, a Figura 4 mostra que Maragogi tinha, em 2010, PIB per capita próximo da mediana, **indicando que as condições econômicas da cidade são representativas** da faixa. Mas vale ressaltar

que a escala dos valores é logarítmica, de forma que, em valores absolutos, a cidade de Maragogi se aproxima mais das cidades pobres do que das mais ricas.

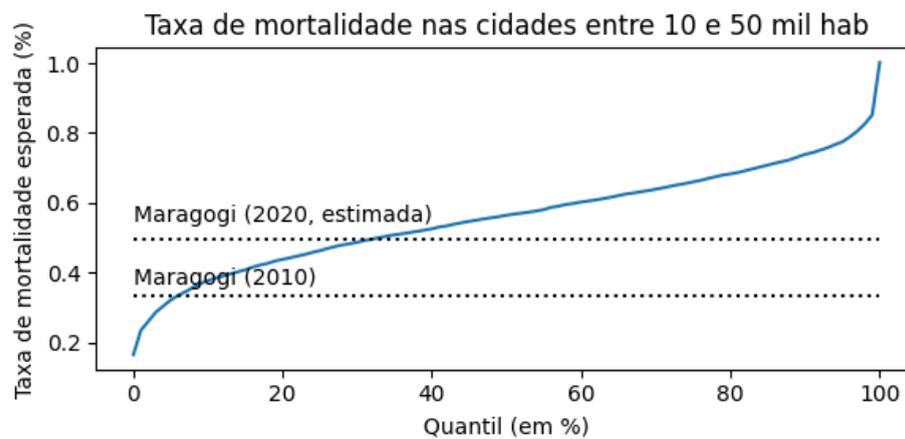


Figura 6: Taxa de mortalidade esperada para as cidades brasileiras entre 10 e 50 mil habitantes (IBGE 2010).

A estrutura da pirâmide etária também é relevante, dado que maiores taxas de mortalidade tendem a ocorrer em populações mais velhas. A Figura 5 apresenta a taxa de mortalidade esperada (computada usando as estatísticas de [26]) dadas as pirâmides etárias de 2010. Naquela época, a população de Maragogi ainda era jovem, mas ao ser comparada com a estimativa atual (realizada utilizando a pirâmide etária construída a partir de bases de dados da prefeitura municipal), nota-se um deslocamento significativo. Infelizmente, a falta de dados sobre a atual estrutura etária das cidades brasileiras inviabiliza uma comparação atualizada, mas é esperado que o envelhecimento rápido de Maragogi a tenha aproximado um pouco mais da mediana, aumentando sua representatividade.

Por fim, a estrutura escolar de Maragogi também foi analisada. Como a principal variável de interesse para a transmissão do vírus é a concentração de alunos por turma nas escolas, filtramos, com base nos dados agregados por instituição de ensino e nível escolar (educação infantil, ensino fundamental e ensino médio) do INEP 2020 ([28]), as escolas pertencentes aos municípios da faixa de interesse.

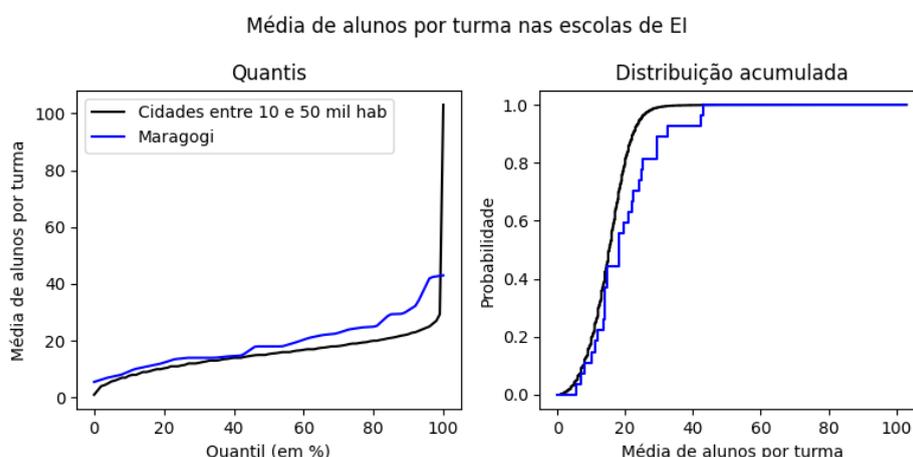


Figura 7: Distribuição média de alunos por turma de Educação Infantil nas escolas em 2020 (INEP) para Maragogi e para as cidades entre 10 e 50 mil habitantes (com base no censo de 2010).

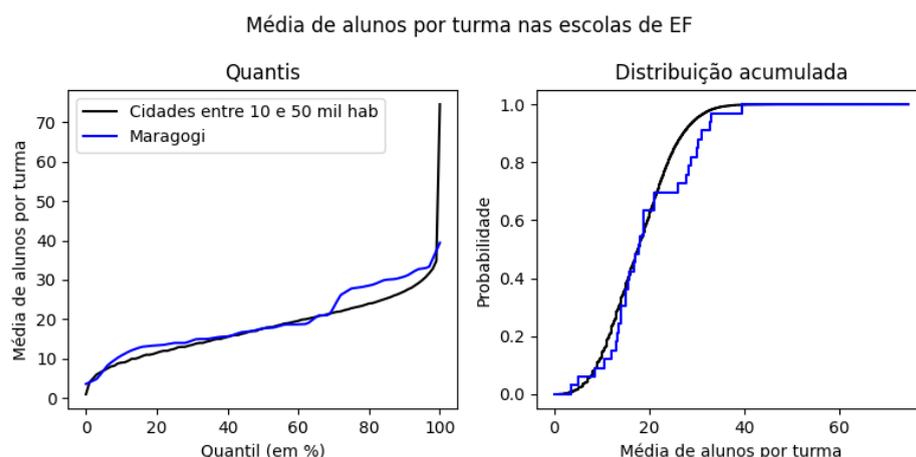


Figura 8: Distribuição média de alunos por turma de Ensino Fundamental nas escolas em 2020 (INEP) para Maragogi e para as cidades entre 10 e 50 mil habitantes (com base no censo de 2010).

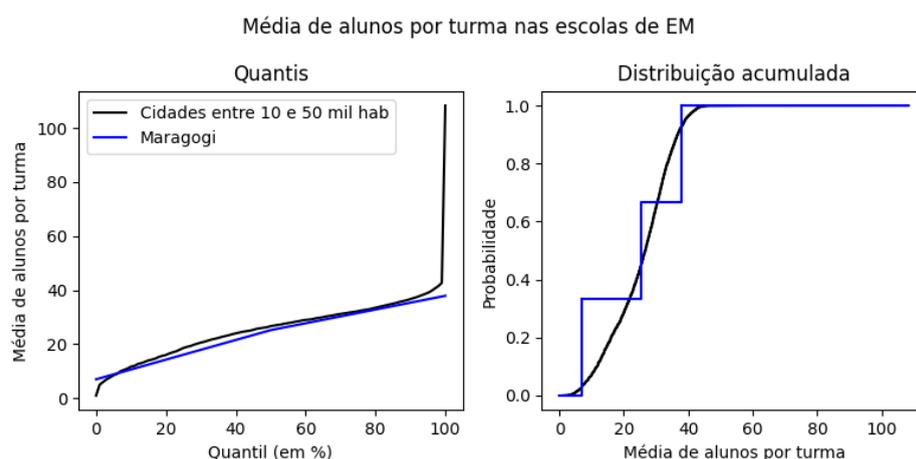


Figura 9: Distribuição média de alunos por turma de Ensino Médio nas escolas em 2020 (INEP) para Maragogi e para as cidades entre 10 e 50 mil habitantes (com base no censo de 2010).

As Figuras 7, 8 e 9 mostram os comparativos das distribuições de Maragogi e da faixa de interesse. Verifica-se visualmente que as distribuições são similares em todos os níveis de ensino, com maiores diferenças na Educação Infantil (EI). A mesma similaridade ocorre ao observarmos as médias, temos dentre todas as escolas de EI da faixa, uma média de 15,25 alunos por turma, enquanto Maragogi possui 19,54. No Ensino Fundamental (EF) a comparação é 17,87 contra 19,49 e no Ensino Médio (EM) 25,30 contra 23,37.

Além de dados demográficos e de visitação de serviços, calibrar nosso modelo requer dados dos compartimentos SEIR (Suscetível, Exposto, Infeccioso e Recuperado) ao longo do tempo. Para estimarmos estas curvas, utilizamos os dados médicos providos pelo Sistema de Monitoramento Clínico [30], construído especificamente para acompanhamento de casos de síndrome gripal, registrando os casos de síndrome gripal no sistema de saúde de Maragogi desde 21/03/20. Com base na demografia da cidade de Maragogi-AL, e nas

taxas de mortalidade e hospitalização já conhecidas da doença [26], é possível estimar, a partir dos números de óbitos e hospitalizações, o número total de casos ocorridos na cidade (sejam eles sintomáticos ou não, diagnosticados ou não). Essa estimativa, sob a hipótese de que todos os casos severos (que necessitam de hospitalização) chegaram ao sistema de saúde, permite aproximar o nível de subnotificação dentre os casos leves (que não necessitam de hospitalização). A partir dos dados de busca por atendimento médico e de testes realizados (inclusive taxas de falso positivo e falso negativo), podemos construir duas curvas: uma de novos casos severos e outra de novos casos leves. Corrigindo a curva de novos casos leves pela taxa de subnotificação já calculada, é possível obter uma boa aproximação de quantos casos novos deveriam ter sido registrados a cada dia numa situação ideal de testagem diária completa da população. Finalmente, para organizar a dinâmica dos indivíduos entre os compartimentos SEIR, utilizamos as distribuições previamente conhecidas de permanência em cada compartimento [27], e os dados fornecidos pelos próprios pacientes.

O parâmetro a ser calibrado em nosso modelo é a probabilidade de uma nova infecção ser produzida a partir do contato entre um indivíduo infeccioso e um agente suscetível. Usando a distribuição de curvas SEIR obtidas através do nosso modelo, podemos avaliar a verossimilhança de uma curva fornecida. Com isso, **aplicamos um método de otimização estocástica para maximizar a verossimilhança e estimar qual valor da probabilidade de infecção produz resultados mais próximos da realidade.**

## Transmissão aérea em salas de aula

Há uma identificação de três possíveis rotas de transmissão de uma pessoa para a outra do coronavírus Sars-Cov-2 causador da COVID-19: (a) grandes gotas emitidas da boca de uma pessoa infectada para a boca, nariz ou olhos de uma pessoa receptora; (b) contato físico com gotas depositadas em superfícies (fômites) e transferência subsequente para a mucosa respiratória de uma pessoa receptora; (c) inalação de microgotas ejetadas por uma pessoa infectada e mantidas suspensas no ar em um ambiente fechado de baixa ventilação [9]. Estas gotas de tamanhos variados e capazes de transmitir o vírus podem ser expelidas por uma pessoa infectada quando ela respira, fala, canta, espirra ou tosse.

Num ambiente fechado, mal ventilado e ocupado simultaneamente por várias pessoas, como numa sala de aula, o principal mecanismo de transmissão passa ser o item (c): aerossóis emitidos por um indivíduo infectado que podem permanecer suspensos no ar e provocar a transmissão para pessoas receptoras que estejam distantes do emissor [10]. Esta via de transmissão pode ser mitigada ao melhorar a ventilação do ambiente, implementar uso de máscaras eficientes, diminuir o número de pessoas e o tempo de permanência num recinto fechado [5c, 6c].

Portanto, em nossas simulações de reabertura de aulas presenciais, implementamos um modelo de transmissão por aerossóis para as salas de aula, que leva em conta o número de pessoas por sala e o tempo de duração das aulas: a formulação de Wells-Riley [11]. Utilizamos parâmetros típicos apresentados na literatura e adaptados para uma sala de aula fechada [12]. Estes parâmetros indicam que uma exposição por 2 horas numa sala mal

ventilada com 19 pessoas suscetíveis e uma infectada resultaria numa probabilidade de infecção de aproximadamente 5% para cada pessoa suscetível [12].

## Resultados

Os resultados que seguem concentram de forma simplificada nos principais cenários para a presente discussão ao público geral. Destacamos que estes resultados foram obtidos em cenários calibrados para a primeira onda no município (09/05/20 a 28/07/20), quando as condições de restrição de circulação e funcionamento de serviços não eram exatamente iguais às atuais. **As simulações foram realizadas para mimetizar todos os habitantes da cidade e considerando o funcionamento presencial apenas de duas das maiores escolas municipais da cidade, contando com população conjunta de 2.231 membros (correspondendo a 34,3% da população escolar da rede municipal).**

Cenário/Ação	Turno escolar de 2 horas	Turmas separadas em dois grupos, com aulas presenciais em dias intercalados	Estudantes testados e isolados (14 dias) quando sintomáticos ou quando familiar for confirmado positivo	Se estudante for confirmado positivo, seu grupo é suspenso por 14 dias	Se mais de um grupo apresentar estudantes positivos, a escola é fechada por 7 dias.	Vacinação dos funcionários das escolas
Cenário A: Contágio comunitário com escolas fechadas	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Cenário B: Reabertura com turmas e horários reduzidos	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Cenário C: Reabertura reduzida com funcionários imunizados	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Cenário D: Reabertura reduzida com monitoramentos e fechamentos temporários	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO

Tabela 1: Detalhamento dos quatro cenários considerados para a retomada de aulas presenciais nas duas escolas simuladas em Maragogi-AL, onde discriminamos nas colunas as medidas de mitigação de infecções em cada cenário.

## **A. Contágio comunitário com escolas fechadas**

Neste cenário, seguimos as infecções nos indivíduos da comunidade escolar (alunos e funcionários) produzidas apenas pela dinâmica social da cidade (contágio intradomiciliar ou nos demais serviços da cidade) caso as escolas permanecessem fechadas para aulas presenciais no período simulado. Este cenário resultou em média em 131 infecções, correspondendo a 5,9% de infectados na população escolar, medida que servirá de referência para comparação relativa dos efeitos da reabertura nos demais cenários. Ao mesmo tempo houve 2.402 infecções na cidade, correspondendo a 7% dos habitantes totais. O número de infecções acumuladas na população escolar ao longo da simulação é representado na Figura 10.A).

## **B. Reabertura com turmas e horários reduzidos**

Protocolo de reabertura utilizado:

- Horário reduzido: turno escolar de 2 horas;
- Turmas fracionadas: separadas em dois grupos, com aulas presenciais em dias intercalados.

O número de casos na população escolar aumentou em 270%. As infecções na cidade também aumentaram consideravelmente graças ao contágio cruzado propiciado pelos contatos escolares, havendo aumento de casos em 52%. Os casos ao longo da simulação são representados na Figura 10.B).

## **C. Reabertura reduzida com funcionários imunizados**

Protocolo de reabertura utilizado:

- Todos os funcionários inicialmente imunizados;
- Turno escolar de 2 horas;
- Turmas separadas em dois grupos, com aulas presenciais intercaladas.

O número de casos na população escolar aumentou em 178% relativo às aulas presenciais permanecerem suspensas, uma redução de 92% comparada a apenas adotar atividades reduzidas. Ao mesmo tempo, toda a comunidade foi melhor protegida, tendo aumento de casos em 36%. Os casos ao longo da simulação são representados na Figura 10.C).

## **D. Reabertura reduzida com monitoramentos e fechamentos intermitentes**

Protocolo de reabertura utilizado:

- Horário reduzido: turno escolar de 2 horas;
- Turmas fracionadas: separadas em dois grupos, com aulas presenciais em dias intercalados;
- Estudantes são testados e isolados (14 dias) quando sintomáticos ou quando familiar for confirmado positivo;
- Se estudante for confirmado positivo, seu grupo é suspenso por 14 dias;
- Se mais de um grupo apresentar estudantes positivos, a escola é fechada por 7 dias.

Este protocolo foi bastante efetivo para proteger a comunidade escolar (aumento de casos em 18%) e a cidade como um todo (aumento de 3%). Estes resultados são

consideravelmente robustos, permanecendo qualitativamente os mesmos quando testamos o caso em que apenas metade das famílias notificam casos positivos entre seus membros. Os casos e os diagnósticos ao longo da simulação são representados na Figura 10.D).

**Destacamos que o fechamento intermitente requer que as escolas fechem em média 40% dos dias. Considerando ainda o fechamento parcial de turmas, cada estudante teve em média 2,5 horas de aula por semana.**

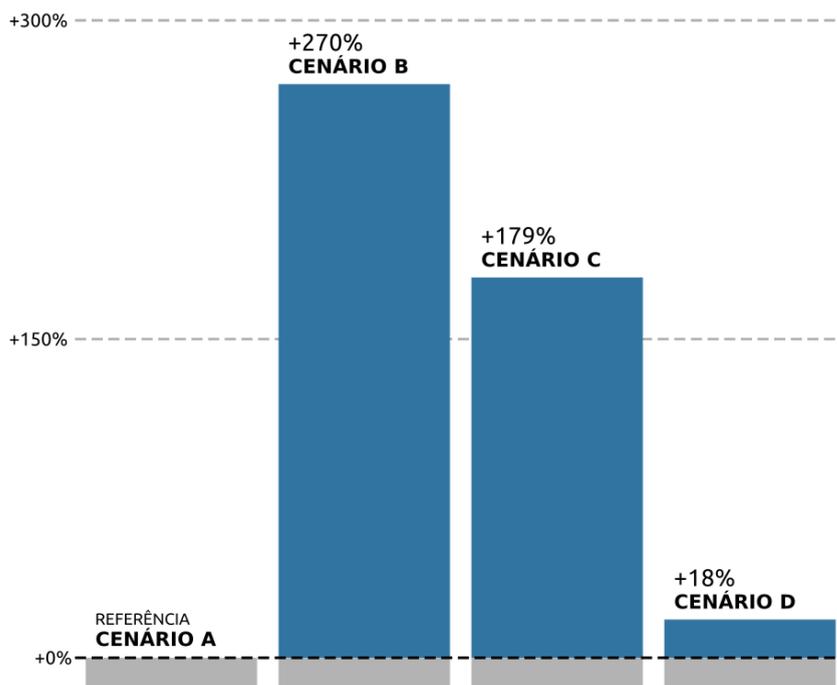


Figura 9. Crescimento percentual da população escolar infectada nos diferentes cenários. A) Cenário com escolas fechadas; B) Reabertura com turmas e horários reduzidos; C) Reabertura reduzida com profissionais imunizados; D) Reabertura reduzida com protocolo de monitoramento  
A população escolar simulada conta com 2.231 membros.

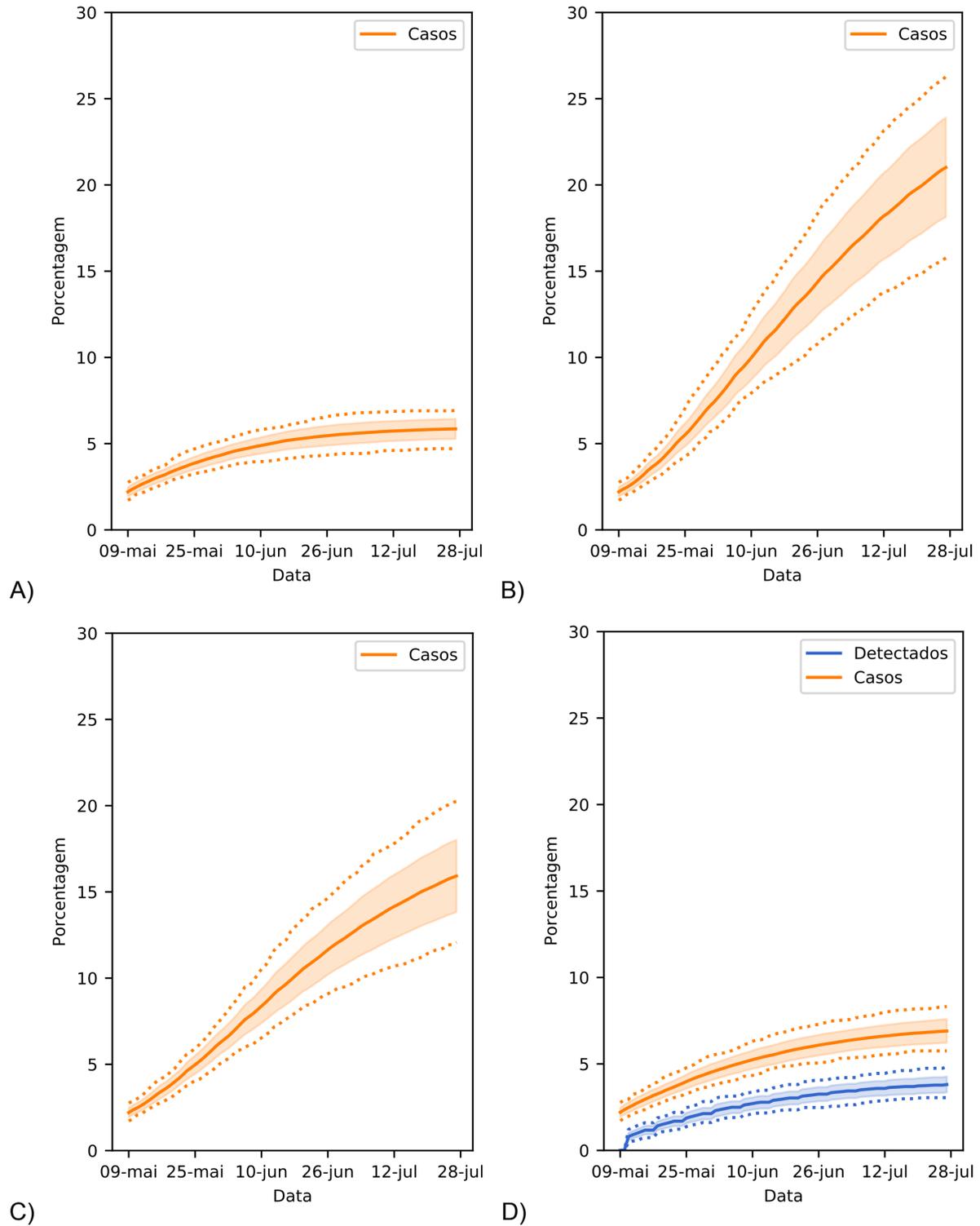


Figura 10. Percentual da população escolar infectada ao longo do tempo. A) Cenário com escolas fechadas; B) Reabertura com turmas e horários reduzidos; C) Reabertura reduzida com profissionais imunizados; D) Reabertura reduzida com protocolo de monitoramento. Curva corresponde ao resultado médio de 95 realizações do modelo, área sombreada demonstram um desvio padrão da média e curvas pontilhadas delimitam intervalo de confiança de 95%.

## Conclusões e recomendações

Concluimos, por fim, que é necessário avaliar quantitativamente o efeito de diferentes protocolos de reabertura, para a deliberação de retomada de aulas presenciais e semipresenciais em escolas públicas brasileiras. Torna-se responsabilidade dos gestores pesar estas avaliações para desenvolver protocolos de ação efetivos para a reabertura segura de nossas escolas. Destacamos algumas conclusões importantes de nossas simulações:

- O mecanismo de transmissão aérea do Sars-Cov-2 deve ser considerado como o principal causador de infecções em ambientes escolares;
- **Uma reabertura sem nenhuma medida de monitoramento de casos na comunidade escolar, mesmo com turmas reduzidas, pode aumentar o total de infectados na população escolar em até 270% em 80 dias de funcionamento escolar. Esta opção é claramente inviável em meio a uma crise sanitária.**
- **Vacinação de profissionais é uma medida essencial para potencializar o efeito da redução de turmas.** Ainda assim, na ausência de outras medidas de monitoramento e quarentena, o contágio pode aumentar em 178% o risco de contágio dentro da população escolar.
- **Nosso protocolo de monitoramento e resposta é extremamente efetivo, tendo aumento relativo de casos de 18%. No entanto, este protocolo requer que as escolas, que já operariam em horário reduzido, passem em média 40% do tempo fechadas, além de requerer considerável esforço de coordenadores pedagógicos e da vigilância epidemiológica no acompanhamento de casos suspeitos. Levando em consideração o horário reduzido e o período de fechamento, os alunos teriam efetivamente apenas 2,5 horas de aula semanais, levantando questões quanto à viabilidade do protocolo para a atividade-fim.**
- Mesmo assumindo que 50% dos casos sintomáticos entre familiares não serão notificados às escolas, o protocolo de monitoramento proposto produz resultados robustos na redução de infecções dentro do ambiente escolar.

O início de aulas presenciais sem vacinação e medidas de monitoramento de casos e protocolo de resposta oferece riscos preocupantes tanto para a comunidade escolar quanto para o município como um todo. **Além de protocolos de higiene e uso de máscaras, as escolas precisam estar preparadas para detectar casos dentro do ambiente escolar, pois eles inevitavelmente aparecerão em estudantes, professores e demais funcionários.**

**A retomada de aulas presenciais sem que condições seguras sejam garantidas, e sem o treinamento de suas equipes em protocolos de monitoramento, significa assumir grandes riscos para o aumento de infecções e perda de vidas.**

## Referências

- [1] COVID-19 and School Closures: One year of education disruption, UNICEF Report, March 2021. <<https://data.unicef.org/resources/one-year-of-covid-19-and-school-closures/>>.
- [2] European Centre for Disease Prevention and Control. *COVID-19 in Children and the Role of School Settings in Transmission-First Update* (2020). <[https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/COVID-19-in-children-and-the-role-of-school-settings-in-transmission-first-update\\_1.pdf](https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/COVID-19-in-children-and-the-role-of-school-settings-in-transmission-first-update_1.pdf)>
- [3] Gurdasani D, Alwan NA, Greenhalgh T, et al. School reopening without COVID-19 mitigation risks accelerating the pandemic. *Lancet* 2021; published online March 10. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00622-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00622-X).
- [4] *What do we know about lateral flow tests and mass testing in schools?* *BMJ* 2021; 372 (Mar. 2021). Disponível: <<https://doi.org/10.1136/bmj.n706>>.
- [5] J. Lessler et al., Household COVID-19 risk and in-person schooling, *Science*, 10.1126/science.abh2939 (Apr. 2021).
- [6] Primeira semana do retorno das aulas conta com 60% dos alunos previstos, <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/orgaos-governamentais/secretaria-da-educacao/primeira-semana-do-retorno-das-aulas-conta-com-60-dos-alunos-previstos/>>.
- [7] BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO DA EDUCAÇÃO – Edição Especial Semana Epidemiológica 08, Comissão Médica da Educação | Secretaria da Educação do Estado de São Paulo (27/02/2021).
- [8] Rede Escola Pública e Universidade. Monitoramento de casos de Covid-19 na rede estadual de São Paulo [Nota Técnica]. São Paulo: REPU, 13 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.repu.com.br/notas-tecnicas>>.
- [9] Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?, World Health Organization <<https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>>
- [10] L. Morawska, J. Cao, Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ. Int.* 139, 105730 (2020).
- [11] Miller, Shelly L., et al. "Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event." *Indoor air* 31.2 (2021): 314-323.
- [12] Hou, Danlin; Katal, Ali; Wang, Liangzhu (Leon); Bayesian Calibration of Using CO2 Sensors to Assess Ventilation Conditions and Associated COVID-19 Airborne Aerosol Transmission Risk in Schools. Cold Spring Harbor Laboratory Press. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.01.29.21250791v1>>.

[13] Bazant, Martin Z., and John WM Bush. "A guideline to limit indoor airborne transmission of COVID-19." Proceedings of the National Academy of Sciences 118.17 (2021)

[14] Ventilation in Schools and Childcare Programs: How to use CDC building recommendations in your setting  
<<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/ventilation.html>>

[15] Sítio da colaboração ModCovid19 <<http://www.cemeai.icmc.usp.br/ModCovid19/>>

[16] Sítio do projeto COMORBUSS <<http://comorbuss.org/>>

[17] Sítio do projeto SMC: <<https://im.ufal.br/laboratorio/led/smc/>>

[18] CHENG, S. Y. et al. How to Safely Reopen Colleges and Universities During COVID-19: Experiences From Taiwan. Annals of internal medicine, v. 173, n. 8, p. 638-641, 2020.

[19] Interim Considerations for Testing for K-12 School Administrators and Public Health Officials. Centers for Disease Control and Prevention. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/k-12-testing.html>>

[20] Operating schools during COVID-19: CDC's Considerations. Centers for Disease Control and Prevention. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/schools.html>>.

[21] PANOVSKA-GRIFFITHS, J. et al. Determining the optimal strategy for reopening schools, the impact of test and trace interventions, and the risk of occurrence of a second COVID-19 epidemic wave in the UK: a modelling study. The Lancet. Child & adolescent health, v. 4, n. 11, p. 817-827, 2020.

[22] PEREIRA, I. D. F.; CORBO, A. D. G. P.; GALDINO, T. S. G.; MENDONÇA, F. C. R. Manual sobre biossegurança para reabertura de escolas no contexto da COVID-19. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, p.1-41, 2020.

[23] Screening K-12 Students for Symptoms of COVID-19: Limitations and Considerations. Centers for Disease Control and Prevention. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/symptom-screening.html>>.

[24] UN.United Nations. Policy brief: the impact of COVID-19 on children. 15 Apr. 2020. Disponível em: <[https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/policy\\_brief\\_on\\_covid\\_impact\\_on\\_children\\_16\\_april\\_2020.pdf](https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/policy_brief_on_covid_impact_on_children_16_april_2020.pdf)>.

[25] Hou, Danlin; Katal, Ali; Wang, Liangzhu (Leon); Bayesian Calibration of Using CO2 Sensors to Assess Ventilation Conditions and Associated COVID-19 Airborne Aerosol Transmission Risk in Schools. Cold Spring Harbor Laboratory Press. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.01.29.21250791v1>>.

[26] Verity et al; Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis. The Lancet Infectious Diseases. Disponível em: <[https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099\(20\)30243-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099(20)30243-7/fulltext)>

[27] Wölfel, R., Corman, V.M., Guggemos, W. et al. Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. Nature 581, 465–469 (2020). Disponível em <<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2196-x>>

[28] INEP, Média de Alunos por Turma <<https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/indicadores-educacionais/media-de-alunos-por-turma>>

[29] Linton NM, Kobayashi T, Yang Y, Hayashi K, Akhmetzhanov AR, Jung S-M, et al. Incubation Period and Other Epidemiological Characteristics of 2019 Novel Coronavirus Infections with Right Truncation: A Statistical Analysis of Publicly Available Case Data. J. Clin. Med. 2020, 9, 538. Disponível em <<https://www.mdpi.com/2077-0383/9/2/538>>.

[30] IBGE Cidades <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/maragogi/panorama>>