

Disseminação da COVID-19 em cidades e localidades rurais da Amazônia Central

Emiliano Esterci Ramalho¹, Ivan Junqueira¹, Fabrício Baccaro², Alison L. Hill³, Maria Isabel F. P. O. Martins¹, Daniele Cristina Barcelos¹, Jefferson Ferreira-Ferreira¹, Heloísa Corrêa Pereira¹, Dávila Suelen Souza Corrêa¹, Hudson Cruz das Chagas¹, Ana Claudeise Silva do Nascimento¹.

¹ Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Tefé, AM, Brasil.

² Departamento de Biologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.

³ Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University, Cambridge, MA, USA.

Palavras-chave: coronavírus; SIR; Amazônia; comunidades rurais; COVID-19; pandemia;

Resumo

As populações da Amazônia são extremamente vulneráveis à COVID-19 devido ao intenso fluxo entre as localidades rurais e as sedes municipais e à falta de infraestrutura de saúde básica adequada na região. O objetivo deste estudo foi (1) avaliar o efeito da medida de distanciamento social sobre a disseminação da COVID-19 em sedes municipais e (2) estimar o impacto da redução do contato entre a população rural e urbana sobre a contaminação de localidades rurais da Amazônia Central, região do Médio Solimões. Nossos resultados indicam que o distanciamento social pode reduzir significativamente a velocidade de contaminação da população em sedes municipais. No entanto, mesmo em sedes municipais com atividade intensa no combate à COVID-19, o distanciamento social está muito abaixo do ideal de 70%. Observamos também que a redução do número de visitas e do tempo de permanência durante cada visita, além da interrupção do fluxo durante as cinco semanas com maior probabilidade de infecção têm impacto marcante sobre a velocidade de chegada da COVID-19 nas localidades rurais. Recomendamos que, dada a baixa efetividade de medidas de distanciamento social e o rápido contágio nas sedes municipais, cada município avalie a implementação de *lockdown*. Nossos resultados sugerem também que três medidas podem ser eficientes em atrasar a chegada da COVID-19 às localidades rurais: (1) a redução no número de visitas que cada uma faz a um centro urbano, (2) a redução do tempo de permanência durante cada visita e (3) evitar qualquer ida às sedes municipais durante as cinco semanas com maior número de pessoas infectadas. Destacamos que todas as medidas restritivas sugeridas precisam ser acompanhadas por uma ampla campanha de conscientização e ações de assistência à população rural e às famílias mais carentes das sedes municipais para garantir acesso a itens básicos para sua sobrevivência.

Dissemination of COVID-19 in cities and riverine communities in Central Amazonia

Emiliano Esterci Ramalho¹, Ivan Junqueira¹, Fabrício Baccaro², Alison L. Hill³, Maria Isabel F. P. O. Martins¹, Daniele Cristina Barcelos¹, Jefferson Ferreira-Ferreira¹, Heloísa Corrêa Pereira¹, Dávila Suelen Souza Corrêa¹, Hudson Cruz das Chagas¹, Ana Claudeise Silva do Nascimento¹.

¹ Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Tefé, AM, Brasil.

² Departamento de Biologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.

³ Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University, Cambridge, MA, USA.

Keywords: coronavirus; SIR; Amazon; rural communities; COVID-19; pandemic;

Abstract

The population of small towns and riverine communities in Amazonia are extremely vulnerable to COVID-19 due to the absence of basic health care infrastructure in the region. The objective of this study was to (1) evaluate the effect of social distancing measures in the dissemination of COVID-19 in small towns, and (2) to estimate the impact of reducing contact between rural and urban populations on the contamination of riverine communities of Central Amazon. Our results indicate that social distancing can significantly reduce the speed of dissemination of COVID-19 in the population of small towns. However, we also observed that even in towns with intense actions to combat COVID-19, social distancing is below the ideal 70% isolation mark. Regarding the contamination of riverine communities, we observed that the reduction in the number of visits and duration of stay, as well as the interruption of visits during the five weeks with larger probability of contamination has major impact on delaying the arrival of COVID-19 in these vulnerable populations. We recommend that, given the low effectiveness of social distancing measures and the rapid contamination of urban populations, each municipality should evaluate implementing more restrictive measures such as a full or partial lockdown. Our results also suggest that three measures can be effective in delaying the arrival of COVID-19 in riverine communities of Amazonia: (1) the reduction in the number of visits that each community makes to a town, (2) the reduction in duration of each visit, and (3) avoiding visits during the five weeks with the largest number of infected people in towns. It is imperative that implementation of any of the restrictive measures suggested in this publication be accompanied by a vast communication campaign as well as social assistance actions for the rural population and poor families of small towns to guarantee their basic needs for survival.

Introdução

A COVID-19, doença causada pelo novo coronavírus (*severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2)), foi inicialmente identificada em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, na China, e se espalhou rapidamente por todo o mundo [1–3]. No Brasil, o primeiro caso da COVID-19 foi confirmado no dia 26 de fevereiro de 2020, na cidade de São Paulo, no sudeste do país [4,5 - <https://covid.saude.gov.br/>]. Com a ausência de controle nos aeroportos brasileiros [6], no dia 21 de março a COVID-19 já havia sido registrada em todas as unidades da federação e atualmente já foram confirmados 145.328 casos da doença com 9.897 óbitos [5 - covid.saude.gov.br, 08/05/2020].

A COVID-19 tem significado um drástico impacto na economia e na vida das pessoas em todo o mundo [7]. No entanto, a velocidade de infecção e o número de óbitos associados à doença têm variado muito entre países [8,9 - coronavirus.jhu.edu/data/mortality]. Essa variação, ao que tudo indica, está associada principalmente à agilidade e eficiência com que medidas de distanciamento social foram implementadas, assim como à qualidade dos sistemas nacionais de saúde, às características socioculturais, demográficas e econômicas da população e estrutura logística de cada região [10–13]. Locais que adotaram efetivamente medidas de distanciamento social no começo do processo de infecção tiveram melhores resultados na contenção da doença [11,14].

O distanciamento social é uma medida de saúde pública empregada para reduzir a interação entre pessoas em situações onde não é possível identificar e nem isolar pessoas infectadas [15]. Assim como no resto do mundo, essa tem sido a principal estratégia adotada para desacelerar a disseminação da COVID-19 no Brasil [16–19]. O objetivo principal desta medida é reduzir o número de pessoas infectadas ao mesmo tempo e, conseqüentemente, diminuir a pressão sobre o sistema de saúde [10,20].

No Brasil, a expectativa é a de que a maior parte dos óbitos decorrentes da COVID-19 ocorra nos estados e cidades mais populosas, principalmente no sudeste do país [21]. A região amazônica, no norte do país, no entanto, apesar de menor densidade populacional (até 1 habitante/km² [22]), tem características únicas que tornam seus habitantes extremamente vulneráveis [23]. Um quarto da população amazônica vive em localidades rurais e territórios indígenas afastados dos centros urbanos, com índices de desenvolvimento humano entre os mais baixos do país [22]. Em geral, o acesso aos serviços básicos acontece somente nas áreas urbanas, cuja infraestrutura é deficiente para atender as demandas dessas populações [24,25].

Apesar de consideradas isoladas, as comunidades tradicionais e indígenas da Amazônia estão intensamente conectadas às áreas urbanas através da extensa

rede hidrográfica da região, mantendo vínculo econômico e de acesso a serviços públicos e privados essenciais (Figura 1; [25–27]). Este fluxo constante traz um grande risco durante a pandemia da COVID-19, porque as cidades, especialmente aquelas com aeroportos, tornam-se portas de entrada da doença. Este cenário é especialmente crítico no estado do Amazonas. As cidades do interior não são equipadas com leitos de UTI e todos os leitos de categoria de terapia intensiva na capital do estado, Manaus, já se encontram ocupados [28,29,30 <http://www.saude.am.gov.br/painel/corona/>]. O estado, no momento, também possui o segundo maior número de casos confirmados (taxa de incidência) da COVID-19 e o maior número de óbitos (taxa de mortalidade) para cada 1 milhão habitantes do país [5 - covid.saude.gov.br].

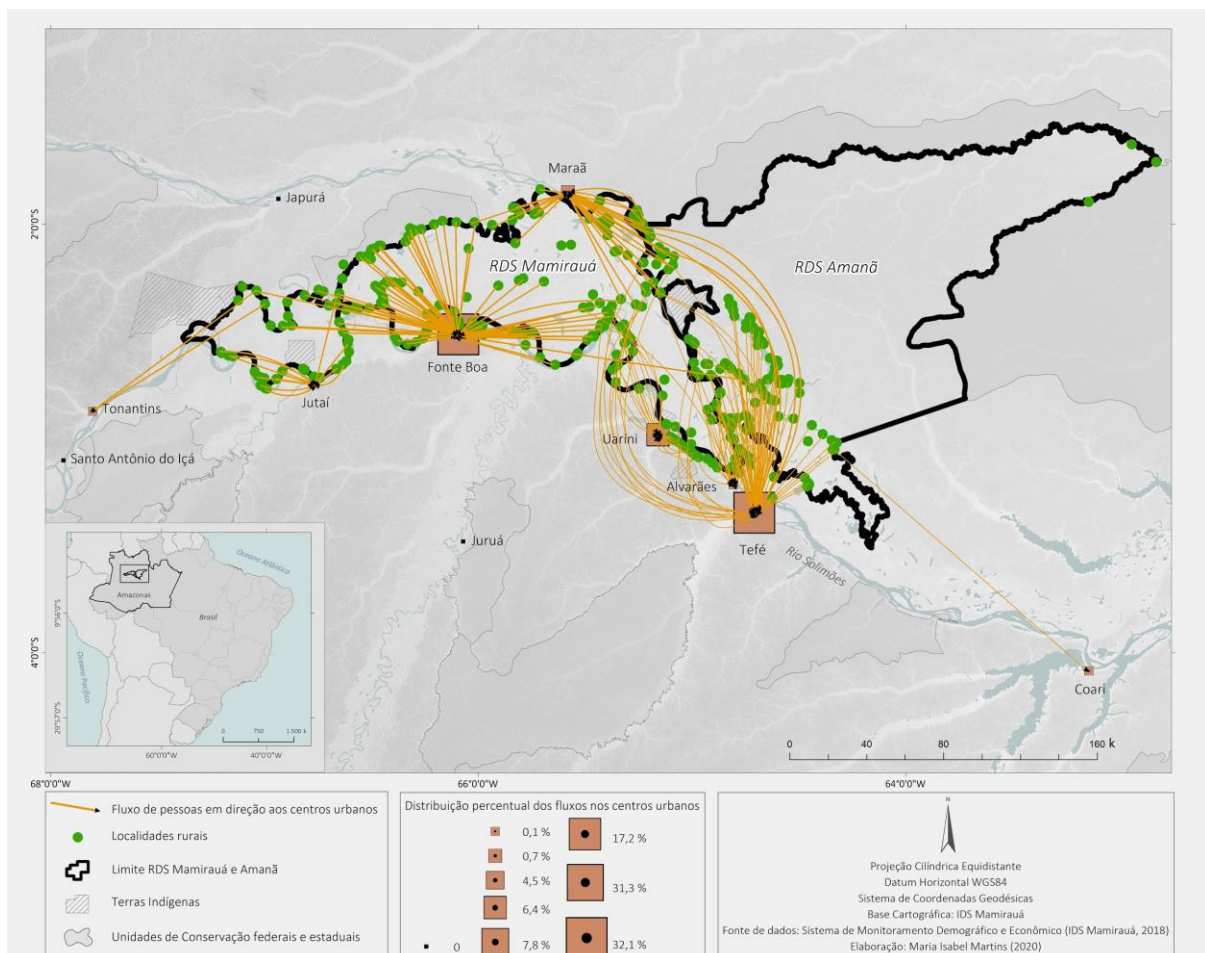


Figura 1- Fluxo de pessoas entre comunidades ribeirinhas e as sedes municipais na Amazônia Central, região do Médio Solimões.

O objetivo deste estudo é (1) avaliar o impacto de medidas de distanciamento social sobre a velocidade de contaminação nas sedes municipais da Amazônia Central, região conhecida como Médio Solimões (Figura 1) e (2) estimar a probabilidade de moradores das localidades rurais da região entrarem em contato com pessoas infectadas durante uma visita a uma sede municipal em diferentes cenários de

distanciamento social e com a implementação de três medidas de redução de contato entre a população rural e urbana.

Métodos

A disseminação da COVID-19 nas sedes municipais

Utilizamos um modelo epidemiológico SIR (Susceptíveis -Infecciosos-Recuperados [31]) para entender o processo de disseminação da COVID-19 nas sedes municipais do interior do estado do Amazonas. O modelo projeta a contaminação a partir de parâmetros da doença, do sistema de saúde, da população infectada e da implementação de intervenções para reduzir a taxa de transmissão da doença (Tabela 1). Assumimos que a epidemia local, dentro das sedes municipais, começa com um indivíduo infectado que transmite o vírus para os demais indivíduos da população a uma taxa β e que não há entrada ou saída de indivíduos da população. Esse último pressuposto leva em consideração a drástica redução de voos na região e a proibição, por decreto estadual, do transporte de passageiros em embarcações para as cidades do interior do estado do Amazonas (Decreto nº 42.087/2020).

Indivíduos infectados foram classificados como casos assintomáticos, leves/moderados, severos e críticos (ver [32] para definição clínica de cada uma das classes). A fração da população infectada dentro de cada classe foi estabelecida por parâmetros iniciais e para cada classe foi determinada uma taxa de transmissão independente (Tabela 1), com transmissão pré-sintomática de três dias durante o período de incubação para todas as classes [33,34]. No modelo, casos severos e críticos podem se recuperar a uma taxa γ ou morrer a uma taxa μ e essas taxas são diferentes entre as classes. Indivíduos recuperados foram considerados imunes, não transmitem mais a doença e não ficam doentes novamente.

O modelo também considera a capacidade hospitalar do sistema de saúde. Quando leitos estão disponíveis, a taxa de progressão de severo para crítico é 30% ($6.1/(13.8+ 6.1)$) (Tabela 1). Assumimos que na ausência de leitos essa progressão aumentará para 50%. Embora não exista um valor exato para esse aumento da taxa de progressão para a COVID-19, outros estudos mostram que baixos níveis de oxigênio estão associados com estados clínicos mais severos, baixas taxas de recuperação e alta mortalidade para pneumonia e outras doenças respiratórias [e.g. 35–37]. Quando leitos de UTI estão disponíveis, a taxa de mortalidade para pacientes com infecção crítica é de 49% [38]. Assumimos que na ausência de leitos de UTI quase todos os pacientes em estado crítico morrem (99%), dado que as infecções críticas são, por definição, estado de risco de vida que demandam cuidados médicos avançados.

Para avaliar o impacto de medidas de distanciamento social sobre a velocidade de contaminação usamos três cenários de distanciamento para cada sede municipal: (1) sem distanciamento, (2) distanciamento social que leva à redução de 50% de

transmissão dos casos leves/moderados, pré-sintomáticos e assintomáticos e (3) distanciamento social que leva à redução de 70% de transmissão dos casos leves/moderados, pré-sintomáticos e assintomáticos. Este último considerado o ideal para a estratégia de distanciamento social [10,20,39].

Por último, comparamos os casos confirmados até o momento (06/05/2020) no município de Tefé, com a inclinação das curvas de casos leves/moderados em diferentes cenários de distanciamento social para avaliar a efetividade das medidas de distanciamento social nesta sede municipal. Realizamos esta análise somente para Tefé porque, em nossa avaliação, o município tem adotado todas as medidas de restrição de mobilidade recomendadas e a taxa de diminuição de contaminações encontradas no município pode servir de parâmetro de comparação para municípios que estejam adotando estratégias diferentes no estado. Atualmente, todas as pessoas que apresentam sintomas da COVID-19 estão sendo testadas e orientadas a permanecer em isolamento.

Correção da fração da população com COVID-19 nas classes severo e crítico

O número real de pessoas com COVID-19 é subestimado em todos os países devido à falta de aplicação de testes em massa [40]. No Brasil, os testes para detecção da doença são realizados majoritariamente em pessoas que vão aos hospitais e que, em geral, precisam de internação [41]. Essas pessoas são uma amostra tendenciosa da população porque indivíduos assintomáticos e casos leves/moderados raramente são testados e por isso não são notificados [42,43 <https://ciis.fmrp.usp.br/covid19-subnotificacao>]. Como consequência, a proporção estimada de pessoas com sintomas severos e críticos dentro da população infectada é superestimada. Para corrigir essas estimativas, primeiro usamos a metodologia proposta por Lachmann e colaboradores [40] para estimar o número real de pessoas infectadas no Brasil, utilizando a Coreia do Sul como parâmetro de comparação. Depois calculamos o fator de correção dividindo o número de casos confirmados pelo número estimado de pessoas infectadas. Na sequência dividimos as proporções de casos severos e críticos, encontradas na literatura, pelo fator de correção para obter proporções mais realistas destes parâmetros.

Tabela 1. Parâmetros do Modelo de Disseminação da COVID-19 nas sedes municipais.

Parâmetro	Valor	Referência
Período de incubação (dias)	5	Linton et al., 2020 [44]
Duração de infecções leves/moderadas (dias)	6	WHO, 2020 [32]
Fração da população infectada na classe severo	13.8/5.6*	WHO, 2020 [32]
Fração da população infectada na classe crítico	6.1/5.6*	WHO, 2020 [32]
Probabilidade de morte em pacientes críticos (%)	49	Wu and McGoogan, 2020 [38]
Duração de casos severos (dias)	23	Wang et al., 2020 [45]
Duração de casos críticos / tempo na UTI (dias)	7	Yang et al., 2020 [46]
β_1 taxa de transmissão leve/moderado	0.8	Ferretti et al., 2020 [47]

β_2 taxa de transmissão severo	0.01	Ferretti et al., 2020 [47]
β_3 taxa de transmissão crítico	0.01	Ferretti et al., 2020 [47]
β_e taxa de transmissão pré-sintomática	0.9	Ferretti et al., 2020 [47]
β_0 taxa de transmissão assintomática	0.10	Ferretti et al., 2020 [47]

* 5.6 é o fator de correção para correção da fração da população com COVID-19 nas classes severo e crítico

A disseminação da COVID-19 nas localidades rurais

A COVID-19 tem uma alta taxa de transmissão, que é facilitada pelo contato ou proximidade com uma pessoa infectada [47,48]. Portanto, assumimos que a probabilidade de um morador de uma localidade rural entrar em contato com pelo menos uma pessoa infectada (PCI) durante uma visita a uma cidade é um bom proxy para avaliarmos o risco de contágio da população rural.

Para estimar PCI consideramos que uma pessoa que está na cidade se desloca em média 3516 metros por dia [49] e que o número de pessoas que ela irá encontrar por dia (NED) é igual a este deslocamento multiplicado pela densidade populacional na sede municipal. Calculamos a probabilidade de uma pessoa que vem de uma localidade rural encontrar com pelo menos uma pessoa infectada usando o NED e o número de pessoas infectadas na sede municipal (PPI) por dia, durante sua visita na cidade (esse último parâmetro é um dos resultados do modelo de disseminação da COVID-19 nas sedes municipais). Assumimos que apenas uma pessoa de uma dada localidade vai à cidade em cada visita e consideramos somente o fluxo de pessoas daquela localidade para a cidade.

Para entender o impacto de diferentes medidas de intervenção sobre a PCI criamos quatro cenários:

1. Sem intervenção (0% distanciamento social) na sede municipal, sem redução no número de visitas e no número de dias que uma pessoa de uma localidade rural fica na sede municipal em cada visita (média de 6 dias);
2. Distanciamento social que resulta na queda da transmissão em 50% na sede municipal, sem redução no número de visitas e no número de dias que uma pessoa de uma localidade rural fica na sede municipal em cada visita (média de 6 dias);
3. Distanciamento social que resulta na queda da transmissão em 50% na sede municipal, redução de 50% no número de visitas e número de dias na cidade reduzido para apenas um dia;
4. Distanciamento social que resulta na queda da transmissão em 50% na sede municipal, redução de 50% no número de visitas e número de dias na cidade reduzido para apenas um dia, e visitas não são realizadas durante as cinco semanas de maior PCI (probabilidades determinadas no cenário 3).

Dados sociodemográficos

Os dados detalhados para a Amazônia Central, região do Médio Solimões, fazem parte do levantamento sociodemográfico que compõem o Sistema de Monitoramento Demográfico e Econômico do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá [50,51]. Estes dados descrevem a sociodemografia das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã a cada cinco anos desde 2011. Para cada uma das localidades utilizadas na análise obtivemos as seguintes informações: nome da localidade, coordenadas, número de domicílios, número médio de moradores por domicílio e população total. A população total de moradores e usuários das duas Unidades de Conservação é de 16.762 pessoas, residentes em 3394 domicílios e em 344 localidades. O número médio de visitas a uma sede municipal por semana e o tempo médio de estadia foram calculados a partir de uma amostra de 30% dos domicílios das Reservas, total de 990 domicílios. O fluxo de deslocamentos registrado na amostra foi com destino às sedes municipais de Alvarães, Coari, Fonte Boa, Jutaí, Maraã, Tefé, Tonantins e Uarini (Figura 1).

Resultados

A disseminação da COVID-19 nas sedes municipais.

Em nossa análise o distanciamento social reduziu a velocidade de contaminação em todas as sedes municipais da área de estudo, atrasando o pico de contaminação em média quatro semanas no cenário de 50% de isolamento, e entre 12 e 17 semanas no cenário de 70% (Figura 2). Considerando apenas o cenário de 50% de isolamento, cenário mais comum no Brasil [52 - google.com/covid19/mobility, 53 - <https://mapabrasileirodacovid.inloco.com.br>], o pico de contaminação foi mais frequente entre as semanas 7 e 10, considerando como primeiro dia a data da confirmação do primeiro caso. O pico de contaminação acontece mais cedo em cidades com densidades populacionais menores e ocorre cerca de três semanas mais tarde nas duas cidades com densidades populacionais maiores, Tefé e Coari.

O número de casos de COVID-19 confirmados até o momento em Tefé foi mais próximo do modelo de disseminação com 50% de isolamento, no entanto apresentou desvio desta tendência nos últimos dois dias analisados, indicando que pode ter ocorrido menor adesão ao isolamento depois dos dias iniciais da circulação do vírus na população. (Figura 3).

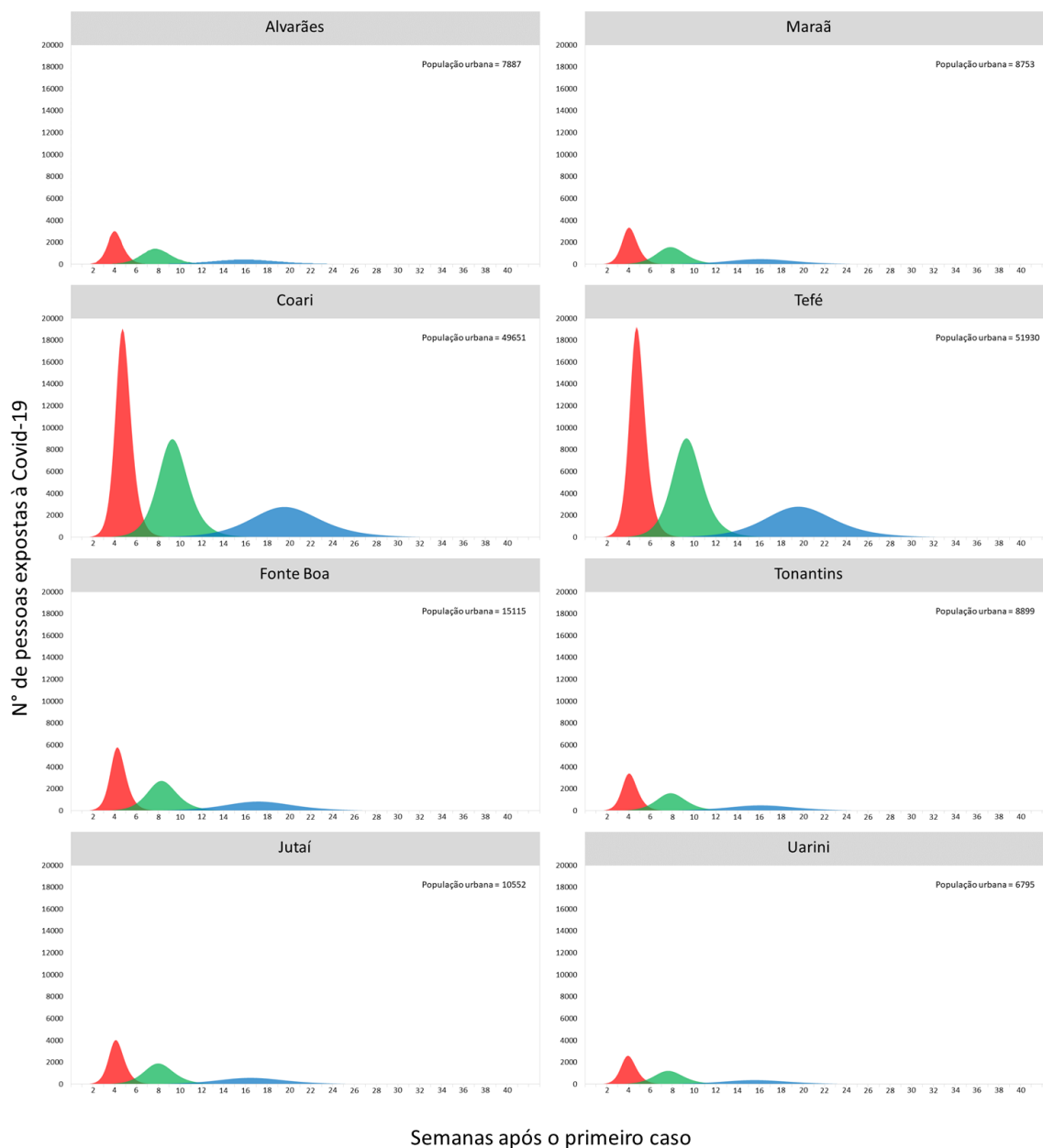


Figura 2. Número de pessoas expostas à COVID-19 nas sete sedes municipais da região do Médio Solimões, em diferentes níveis de distanciamento social. Cenário 1, sem distanciamento, curva vermelha; Cenário 2, distanciamento social que leva à redução de 50% de transmissão dos casos leves/moderados, pré-sintomáticos e assintomáticos, curva verde; Cenário 3, distanciamento com redução de 70% de transmissão dos casos leves/moderados, pré-sintomáticos e assintomáticos, curva azul.

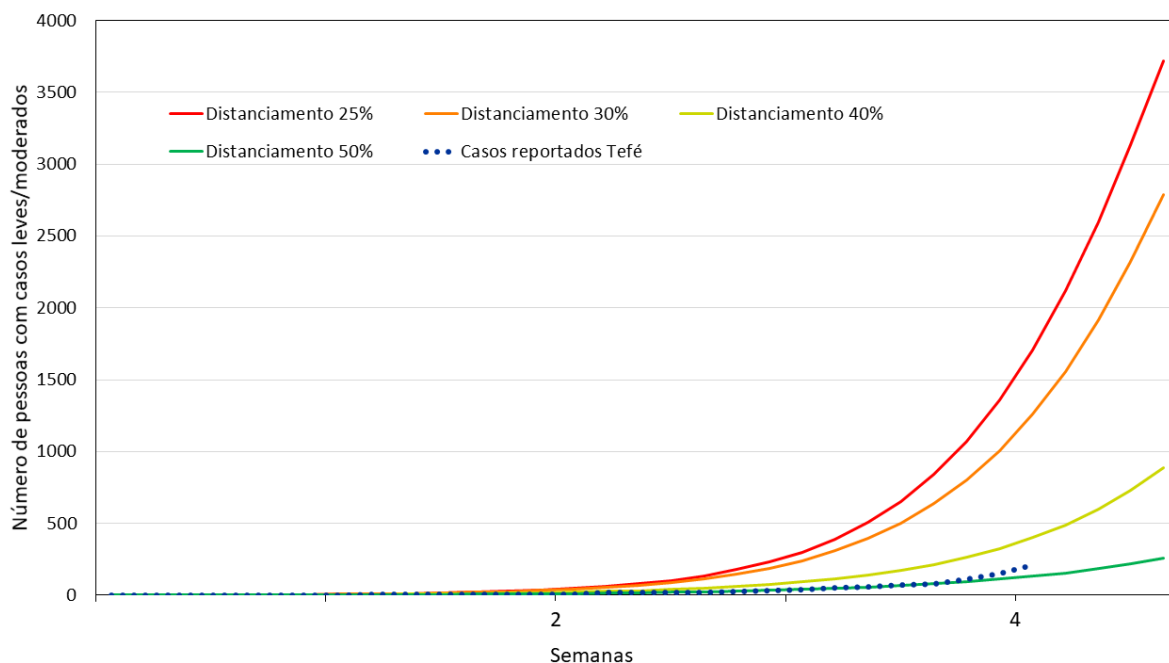


Figura 3. Número de pessoas com casos leves/moderados estimado por modelos com diferentes taxas de distanciamento social (25%, 30%, 40% e 50%) e número de casos de Covid-19 reportados até o momento (06/05/2020) no município de Tefé.

A disseminação da COVID-19 nas localidades rurais

O distanciamento social nas sedes municipais, sem outras intervenções, resultou em uma pequena redução da PCI das localidades assim como atrasou o período de pico da PCI (Figura 4). No entanto, quando foram acrescentadas medidas restritivas ao número de visitas (redução em 50%) e ao tempo de permanência durante cada visita (todas as visitas reduzidas a um dia de permanência), além do atraso no período de pico, houve uma redução significativa da PCI (Figura 3). Essa redução foi ainda mais marcante quando não houve visitas durante as cinco semanas com maiores valores da PCI.

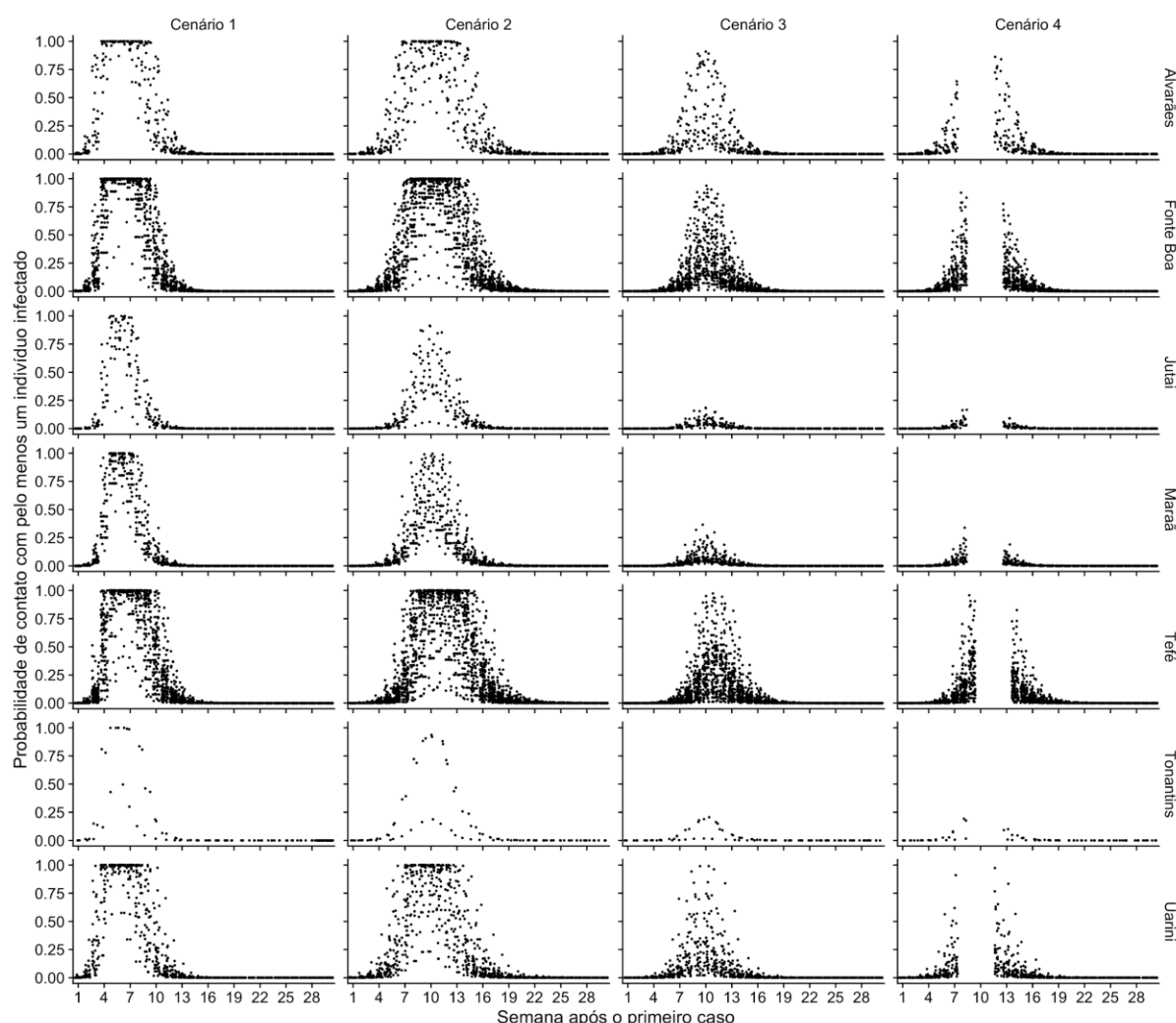


Figura 4 - Probabilidade de um morador de uma localidade rural entrar em contato com pelo menos uma pessoa infectada (PCI) durante visita às sete sedes municipais de acordo com quatro cenários: Cenário 1, sem intervenção (0% distanciamento social) na sede municipal, sem redução no número de visitas e no número de dias que uma pessoa de uma localidade rural fica na sede municipal em cada visita (média de 6 dias); Cenário 2, distanciamento social que resulta na queda da transmissão em 50% na sede municipal, sem redução no número de visitas e no número de dias que uma pessoa de uma localidade rural fica na sede municipal em cada visita (média de 6 dias); Cenário 3, distanciamento social que resulta na queda da transmissão em 50% na sede municipal, redução de 50% no número de visitas e número de dias na cidade reduzido para apenas um dia; Cenário 4, distanciamento social que resulta na queda da transmissão em 50% na sede municipal, redução de 50% no número de visitas e número de dias na cidade reduzido para apenas um dia e visitas não são realizadas durante as cinco semanas de maior PCI (probabilidades determinadas no cenário 3). Todos os cálculos foram feitos por semana, a partir do primeiro caso de infecção. Os pontos representam a probabilidade de encontro com pelo menos uma pessoa infectada por um morador de uma localidade durante uma visita à sede municipal naquela semana. A frequência de visita variou entre as localidades de acordo com os dados sociodemográficos. A cidade de Coari foi omitida, porque somente uma localidade mantém visitas regulares a essa sede municipal.

Discussão

O modelo de disseminação da COVID-19 usado neste estudo indica que, em todas as sedes municipais avaliadas, o aumento do distanciamento social reduz a velocidade de contaminação da população urbana (Figura 2), corroborando diversos outros estudos desenvolvidos para Itália [54], Estados Unidos [39,55], China e outros países asiáticos e europeus [12,14,16,19,56]. Esse resultado é de extrema significância para o estado do Amazonas, onde o sistema de saúde pública já colapsou e onde não existem leitos com respiradores e de UTI para o atendimento de novos casos severos ou críticos da COVID-19. Neste cenário, atrasar a chegada da doença por meio do distanciamento social, para que uma infraestrutura adequada de saúde seja implementada, é uma das medidas mais importantes e deve ser priorizado como estratégia para reduzir o número de óbitos por COVID-19 na região, especialmente nas pequenas cidades do interior do estado.

Apesar do empenho de algumas prefeituras de sedes municipais, sustentar medidas de distanciamento social na Amazônia tem sido um desafio, principalmente em decorrência da situação socioeconômica vulnerável da maior parte da população [25,57]. Para muitas dessas pessoas o sustento financeiro vem do trabalho diário e medidas de distanciamento social desacompanhadas de proteção social podem levá-las a situação de fome e privação de outros benefícios materiais de necessidade básica [57,58].

O município de Tefé é um bom exemplo de empenho no combate à COVID-19. Antes da manifestação da doença no município, foi criado um Comitê de Enfrentamento e Combate à COVID-19 (comitê formalizado pelo Decreto Municipal nº 238, de 18 de março de 2020) com participação de diversas instituições municipais, federais e da sociedade civil. O Comitê deliberou e implementou diversas ações importantes: solicitou o cancelamento de voos de entrada da principal companhia aérea que transporta passageiros para a cidade, reforçou a vigilância dos portos para garantir o decreto estadual que proíbe o transporte de passageiros em embarcações entre as cidades do estado (Decreto 42.087/2020), iniciou a triagem de todas as pessoas que entram na cidade assim como o monitoramento diário de casos suspeitos, higienizou ruas e a feira municipal, reduziu o número de pessoas na feira municipal e fechou o comércio não essencial, suspendeu aulas e cultos religiosos, decretou o uso obrigatório de máscaras para funcionários do comércio e recomendou o uso de máscaras para toda a população, limitou o número de pessoas em supermercados, apoiou bancos na organização de filas para cadastro e recebimento do auxílio emergencial e do bolsa família, reduziu o horário de funcionamento de caixas eletrônicos e realizou campanhas diárias de conscientização (Decretos Municipais nº 238; 248; 252-254; 260; 285; 286; 288; 289; 291; 306, entre 18 de março e 04 de maio de 2020).

Mesmo com todas essas medidas, a aglomeração de pessoas continua sendo frequente no centro da cidade. Locais de aglomeração, especialmente no mercado municipal e na porta dos bancos, estão relacionados a pontos de distribuição de recursos do auxílio emergencial governamental e de provisões. Os dados atuais da secretaria de saúde do município comparados às nossas simulações indicam um índice de distanciamento social próximo da média nacional de 50%, mas muito aquém do ideal de 70% (Figura 3; [20,59 - <https://brasil.io/covid19>]).

A baixa efetividade de medidas de distanciamento social e o rápido contágio nas sedes municipais se tornam ainda mais preocupantes devido à frequência com que as comunidades ribeirinhas visitam essas cidades - em média 2,8 vezes por semana na região da Amazônia Central. Levando em consideração que Tefé talvez tenha uma das melhores iniciativas de combate à COVID-19 do estado do Amazonas e que mesmo assim estas medidas não estão sendo suficientes diante da precariedade estrutural do sistema de saúde existente, é importante avaliar a implementação de um *lockdown* imediato nos municípios (baseado nos dados preliminares desse estudo, o município de Tefé já implementou uma medida de *lockdown* parcial no dia 05/05/2020, Decreto Municipal nº 307, de 04 de maio de 2020). Em King, Washington-EUA, a implementação dessa medida reduziu a taxa de transmissão do novo coronavírus de 2,7 para 1,4 em menos de um mês [39]. O *lockdown* ajudaria a conter o contágio na cidade e nas comunidades ribeirinhas da Amazônia.

Nossos resultados sugerem também que medidas restritivas acordadas com as localidades rurais terão efeito muito mais significativo em reduzir a PCI do que o distanciamento social nas sedes municipais. Três medidas podem ser eficientes em atrasar a chegada da COVID-19 a essas localidades: (1) a redução no número de visitas que cada uma faz a um centro urbano, (2) a redução do tempo de permanência durante cada visita e (3) evitar qualquer ida às sedes municipais durante as cinco semanas com maior número de pessoas infectadas. Idealmente estas ações deveriam ser tomadas em conjunto por todas as localidades rurais.

Todas as medidas restritivas sugeridas neste estudo precisam ser acompanhadas por uma ampla campanha de conscientização e ações de assistência à população rural e às famílias mais carentes das sedes municipais para garantir acesso a itens básicos para sua sobrevivência.

Destacamos também a importância de bases de dados detalhadas e de longo prazo, como o Sistema de Monitoramento Demográfico e Econômico do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá [50,51], de onde foi retirada boa parte dos dados usados neste estudo. Esse sistema coleta e mantém dados detalhados sobre a sociodemografia da região do Médio Solimões, que se mostraram extremamente relevantes neste momento de crise. Estas informações fornecem base

imprescindível para o planejamento de ações regionais eficientes, especialmente casos como a pandemia da COVID-19.

Perspectivas do trabalho

Este trabalho é um exercício inicial com vistas a fundamentar a realização de um levantamento e análise mais amplos para avaliar a vulnerabilidade à contaminação por COVID-19 de comunidades rurais, indígenas e não indígenas, de toda a Amazônia.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá IDSM/MCTICOS, ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/MCTIC), a Universidade Federal do Amazonas, a Universidade de Harvard (EUA) e ao Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), pelo tempo de seus colaboradores, pelos recursos investidos e pela rede de contatos que permitiu que esse trabalho fosse realizado. Agradecemos aos doutores José Ricardo Ramalho (UFRJ), Helder Lima de Queiroz (IDSM), Daniel Antunes Maciel Villela (Fiocruz) e William Ernest Magnusson (INPA) pela leitura crítica e construtiva do manuscrito. Agradecemos também a Sra. Maria Adriana Moreira, Secretária de Saúde do Município de Tefé, por sua contribuição na avaliação dos parâmetros usados nos modelos.

Referências

1. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine*. 2020;382: 727–733. doi:10.1056/NEJMoa2001017
2. Wang C, Horby PW, Hayden FG, Gao GF. A novel coronavirus outbreak of global health concern. *The Lancet*. 2020;395: 470–473. doi:10.1016/S0140-6736(20)30185-9
3. World Health Organization (WHO). Coronavirus disease (COVID-2019) Situation Report 51. World Health Organization. 2020. Available: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200311-sitrep-51-covid-19.pdf>
4. Ministério da Saúde. Boletim Epidemiológico Especial 14 COE-COVID-19. Secretaria de Vigilância em Saúde. 2020. Available: <https://portal.arquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/Abril/27/2020-04-27-18-05h-BEE14-Boletim-do-COE.pdf>
5. Ministério da Saúde. Coronavírus Brasil - Painel Geral COVID-19. 2020 [cited 8 May 2020]. Available: <https://covid.saude.gov.br/>
6. Ribeiro SP, Dattilo W, Castro e Silva A, Reis AB, Goes-Neto A, Alcantara L, et al. Severe airport sanitarian control could slow down the spreading of COVID-19

- pandemics in Brazil. medRxiv. 2020; 2020.03.26.20044370. doi:10.1101/2020.03.26.20044370
7. IMF (International Monetary Fund). World Economic Outlook. Chapter 1 The Great Lockdown. 2020. Available: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/04/14/weo-april-2020>
 8. World Health Organization (WHO). Coronavirus Disease 2019 Situation Report - 107. WHO Bulletin. 2020. Available: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200506covid-19-sitrep-107.pdf?sfvrsn=159c3dc_2
 9. Mortality Analyses - Johns Hopkins Coronavirus Resource Center. [cited 7 May 2020]. Available: <https://coronavirus.jhu.edu/data/mortality>
 10. Anderson RM, Heesterbeek H, Klinkenberg D, Hollingsworth TD. How will country-based mitigation measures influence the course of the COVID-19 epidemic? *The Lancet*. 2020;395: 931–934. doi:10.1016/S0140-6736(20)30567-5
 11. Oksanen A, Kaakinen M, Latikka R, Savolainen I, Savela N, Koivula A. Regulation and Trust: A Social Science Perspective on COVID-19 Mortality. *SSRN Electronic Journal*. 2020. doi:10.2139/ssrn.3569845
 12. Tian H, Liu Y, Li Y, Wu C-H, Chen B, Kraemer MUG, et al. An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China. *Science*. 2020; eabb6105. doi:10.1126/science.abb6105
 13. Walker PG, Whittaker C, Watson O, Baguelin M, Ainslie KEC, Bhatia S, et al. The Global Impact of COVID-19 and Strategies for Mitigation and Suppression. Imperial College of London. London, UK; 2020. Available: <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/report-12-global-impact-covid-19/>
 14. Kraemer MUG, Yang C-H, Gutierrez B, Wu C-H, Klein B, Pigott DM, et al. The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*. 2020;368: 493–497. doi:10.1126/science.abb4218
 15. Wilder-Smith A, Freedman DO. Isolation, quarantine, social distancing and community containment: pivotal role for old-style public health measures in the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak. *Journal of Travel Medicine*. 2020;27: 1–4. doi:10.1093/jtm/taaa020
 16. Pan A, Liu L, Wang C, Guo H, Hao X, Wang Q, et al. Association of Public Health Interventions with the Epidemiology of the COVID-19 Outbreak in Wuhan, China. *JAMA - Journal of the American Medical Association*. 2020;02115: 1–9. doi:10.1001/jama.2020.6130
 17. Banholzer N, van Weenen E, Kratzwald B, Seeliger A, Tschernutter D, Bottrighi P, et al. Impact of non-pharmaceutical interventions on documented cases of COVID-19. medRxiv. 2020; 2020.04.16.20062141. doi:10.1101/2020.04.16.20062141
 18. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Coronavirus disease 2019 (COVID-19) in the EU/EEA and the UK – ninth update, 23 April 2020. Stockholm; 2020. Available: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/rapid-risk-assessment-coronavirus-disease-2019-covid-19-pandemic-ninth-update>
 19. Imai N, Gaythorpe KAM, Abbott S, Bhatia S, van Elsland S, Prem K, et al. Adoption and impact of non-pharmaceutical interventions for COVID-19. *Wellcome Open Research*. 2020;5: 59. doi:10.12688/wellcomeopenres.15808.1
 20. Ferguson NM, Laydon D, Nedjati-Gilani G, Imai N, Ainslie K, Baguelin M, et al. Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Imperial College of London. London, UK; 2020.

doi:10.25561/77482

21. Coelho FC, Lana RM, Cruz OG, Codeco CT, Villela D, Bastos LS, et al. Assessing the potential impact of COVID-19 in Brazil: Mobility, Morbidity and the burden on the Health Care System. medRxiv. 2020. doi:10.1101/2020.03.19.20039131
22. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. IBGE. Rio de Janeiro, RJ; 2010. Available: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=resultados>
23. Oliveira U, Filho BS, Oviedo A, Moreira T. Modelagem da vulnerabilidade dos povos indígenas no Brasil ao covid-19. 2020. Available: https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/nota_tecnica_modelo_covid19.pdf
24. Noronha K, Guedes G, Turra CM, Andrade MV, Botega L, Nogueira D, et al. Nota Técnica: Pandemia por COVID-19 no Brasil: análise da demanda e da oferta de leitos e equipamentos de ventilação assistida considerando os diferenciais de estrutura etária, perfil etário de infecção, risco etário de internação e distâncias territoriais. Belo Horizonte: Cedeplar UFMG; 2020.
25. Andrade LC de, Pereira HC, Nascimento ACS do, Gomes MCRL. Os potenciais impactos da pandemia do COVID-19 nas comunidades ribeirinhas da Amazônia Central e as soluções recomendadas para mitigação. Nota técnica COVID-19 n° 004 30/04/2020. Manaus, AM; 2020. Available: <http://cloud.prodam.am.gov.br/index.php/s/U4hXTYiyGgmR6bn>
26. Schor T, Oliveira JA. Reflexões metodológicas sobre o estudo da rede urbana no Amazonas e perspectivas para a análise das cidades na Amazônia brasileira. Revista ACTA Geográfica. 2011; 15–30. doi:10.5654/actageo2011.0001.0001
27. Bartoli E. Cidades na Amazônia, sistemas territoriais e a rede urbana. Mercator. 2018;17: 1–16. doi:10.4215/rm2018.e17027
28. Ministério da Saúde. DATASUS - Informações de Saúde - Rede Assistencial. 2020 [cited 4 May 2020]. Available: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0204&id=11663>
29. FVS/AM Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas. Resumo dos casos confirmados de covid-19 no Amazonas 3/5/2020. Manaus, AM; 2020.
30. SUSAM - Secretaria de Saúde do Estado do Amazonas. Relatório diário do monitoramento do COVID-19 no Amazonas. 2020 [cited 3 May 2020]. Available: <http://www.saude.am.gov.br/painel/corona>
31. Kermack W, McKendrick A. A contribution to the mathematical theory of epidemics. Proceedings of the Royal Society of London Series A Mathematical and Physical Sciences. 1927;A115: 700–721.
32. World Health Organization (WHO). Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). The WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019. 2020. Available: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>
33. Tindale L, Coombe M, Stockdale JE, Garlock E, Lau WYV, Saraswat M, et al. Transmission interval estimates suggest pre-symptomatic spread of COVID-19. medRxiv. 2020; 2020.03.03.20029983. doi:10.1101/2020.03.03.20029983
34. He X, Lau EHY, Wu P, Deng X, Wang J, Hao X, et al. Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. Nature Medicine. 2020. doi:10.1038/s41591-020-0869-5

35. Majumdar SR, Eurich DT, Gamble JM, Senthilselvan A, Marrie TJ. Oxygen saturations less than 92% are associated with major adverse events in outpatients with pneumonia: A population-based cohort study. *Clinical Infectious Diseases*. 2011;52: 325–331. doi:10.1093/cid/ciq076
36. Vold ML, Aasebø U, Wilsgaard T, Melbye H. Low oxygen saturation and mortality in an adult cohort: The Tromsø study. *BMC Pulmonary Medicine*. 2015;15: 1–12. doi:10.1186/s12890-015-0003-5
37. Blanc J, Locatelli I, Rarau P, Mueller I, Genton B, Boillat-Blanco N, et al. Retrospective study on the usefulness of pulse oximetry for the identification of young children with severe illnesses and severe pneumonia in a rural outpatient clinic of Papua New Guinea. *PLoS ONE*. 2019;14: 1–13. doi:10.1371/journal.pone.0213937
38. Wu Z, McGoogan JM. Characteristics of and Important Lessons from the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72314 Cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA - Journal of the American Medical Association*. 2020;2019. doi:10.1001/jama.2020.2648
39. Thakkar N, Burstein R, Hu H, Selvaraj P, Klein D. Social distancing and mobility reductions have reduced COVID-19 transmission in King County, WA. 2020. Available: https://covid.idmod.org/data/Social_distancing_mobility_reductions_reduced_COVID_Seattle.pdf
40. Lachmann A, Jagodnik KM, Giorgi FM, Ray F. Correcting under-reported COVID-19 case numbers: estimating the true scale of the pandemic. *medRxiv*. 2020; 2020.03.14.20036178. doi:10.1101/2020.03.14.20036178
41. Ministério da Saúde. Plano de Contingência Nacional para Infecção Humana pelo novo Coronavírus COVID-19. Centro de Operações de Emergências em Saúde Pública | COE-COVID-19. 2020. Available: <https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/marco/25/Livreto-Plano-de-Contingencia-5-Corona2020-210x297-16mar.pdf>
42. Li R, Pei S, Chen B, Song Y, Zhang T, Yang W, et al. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science*. 2020;368: 489–493. doi:10.1126/science.abb3221
43. Alves D, Gaete R, Miyoshi N, Carciofi B, Oliveira L, Sanchez T. Estimativa de Casos de COVID-19. 2020 [cited 7 May 2020]. Available: <https://ciis.fmrp.usp.br/covid19-subnotificacao/>
44. Linton NM, Kobayashi T, Yang Y, Hayashi K, Akhmetzhanov AR, Jung S, et al. Incubation Period and Other Epidemiological Characteristics of 2019 Novel Coronavirus Infections with Right Truncation: A Statistical Analysis of Publicly Available Case Data. *Journal of Clinical Medicine*. 2020;9: 538. doi:10.3390/jcm9020538
45. Wang Z, Ji JS, Liu Y, Liu R, Zha Y, Chang X, et al. Survival analysis of hospital length of stay of novel coronavirus (COVID-19) pneumonia patients in Sichuan, China. *medRxiv*. 2020; 2020.04.07.20057299. doi:10.1101/2020.04.07.20057299
46. Yang X, Yu Y, Xu J, Shu H, Xia J, Liu H, et al. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. *The Lancet Respiratory Medicine*. 2020;2600: 1–7. doi:10.1016/S2213-2600(20)30079-5
47. Ferretti L, Wymant C, Kendall M, Zhao L, Nurtay A, Abeler-Dörner L, et al. Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science*. 2020;6936: eabb6936. doi:10.1126/science.abb6936

48. Riou J, Althaus CL. Pattern of early human-to-human transmission of Wuhan 2019-nCoV. *bioRxiv*. 2020; 1–6. doi:10.1101/2020.01.23.917351
49. Althoff T, Sosič R, Hicks JL, King AC, Delp SL, Leskovec J. Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality. *Nature*. 2017;547: 336–339. doi:10.1038/nature23018
50. IDSM - Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Sistema de Monitoramento Demográfico e Econômico/SIMDE. Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã. Tefé, AM: IDSM - Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá; 2018.
51. IDSM - Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Sistema de Monitoramento Demográfico e Econômico/SIMDE. Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Tefé, AM: IDSM - Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá; 2019.
52. COVID-19 Community Mobility Reports. [cited 4 May 2020]. Available: <https://www.google.com/covid19/mobility/>
53. Mapa de Isolamento Social | COVID-19 | Coronavírus no Brasil | Inloco. [cited 4 May 2020]. Available: <https://mapabrasileirodacovid.inloco.com.br/pt/>
54. Lavezzo E, Franchin E, Ciavarella C, Cuomo-Dannenburg G, Barzon L, Vecchio C Del, et al. Suppression of COVID-19 outbreak in the municipality of Vo, Italy. *medRxiv*. 2020; 2020.04.17.20053157. doi:10.1101/2020.04.17.20053157
55. Ngonghala CN, Iboi E, Eikenberry S, Scotch M, MacIntyre CR, Bonds MH, et al. Mathematical assessment of the impact of non-pharmaceutical interventions on curtailing the 2019 novel Coronavirus. *medRxiv*. 2020; 2020.04.15.20066480. doi:10.1101/2020.04.15.20066480
56. Flaxman S, Mishra S, Gandy A, Unwin HJT, Coupland H, Mellan TA, et al. Estimating the number of infections and the impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in European countries: technical description update. Imperial College London. 2020; 1–35. doi:10.25561/77731
57. Barnett-Howell Z, Mobarak AM. The Benefits and Costs of Social Distancing in Rich and Poor Countries. 2020; 1–14. Available: <http://arxiv.org/abs/2004.04867>
58. Food Security Information Network (FSIN). Global Report on Food Crises. FaoOrg. 2020; 1–202. Available: <http://www.fao.org/emergencies/resources/documents/resources-detail/en/c/1187704/>
59. Covid19 por Município - Brasil.IO. [cited 7 May 2020]. Available: <https://brasil.io/covid19/>