

Simulando os Efeitos de Políticas de Distanciamento Social em São Paulo usando um modelo SEIR*

Bruno Kawaoka Komatsu[†]

Naercio Menezes-Filho[‡]

Primeira Versão - 22 de Maio de 2020

Abstract

Esse artigo apresenta os resultados de simulações de um modelo SIER com matrizes de contatos, desenvolvido por Prem, Liu, et al. (2020) para a pandemia de COVID-19, com parâmetros calibrados para o Estado de São Paulo. Utilizamos esse modelo para simular o número de mortes que ocorreria sob diferentes políticas de distanciamento social, levando em conta também o número de leitos UTI disponíveis em São Paulo. As simulações dependem de parâmetros que ainda não conhecemos com certeza e, portanto, os resultados devem ser vistos com cautela. Os resultados mostram que o número real de infectados no Estado de São Paulo poderá atingir 1 milhão de pessoas ao final de maio, mesmo com a atual política de distanciamento. Se o distanciamento persistir até o final de junho somente, teríamos 5.500 mortes adicionais em junho e 22.000 em julho. Além disso, precisaríamos de mais 1.000 leitos em UTI em junho e 7.000 em julho para evitar mais mortes. Se o distanciamento persistir até o final de agosto, teríamos cerca de 10.700 mortes em julho e necessitaremos de 2.000 leitos adicionais. Mas, se fizéssemos um lockdown em junho e julho, teríamos cerca de 4.000 mortes em junho e outras tantas em julho e precisaríamos de 700 vagas adicionais de UTI em cada um desses meses.

Keywords: Covid-19, Distanciamento Social, Mortalidade, Epidemiologia, Brazil

*Enfatizamos que os resultados apresentados nesse artigo são simulações realizadas por economistas que não têm experiência anterior com modelos epidemiológicos e que ainda existem muitas incertezas com relação aos parâmetros do modelo. Assim, nossos resultados devem ser vistos com cautela.

[†]Inspere-mail: brunokkf@insper.edu.br

[‡]Inspere and University of São Paulo. E-mail: naercioamf@insper.edu.br

1 Introdução

A pandemia associada ao vírus COVID-19 está tendo impactos muito grandes, não somente no número de mortos, mas também econômicos e sociais. Para evitar a disseminação descontrolada da pandemia o governo do estado de São Paulo tomou medidas de distanciamento social, que têm efeitos colaterais econômicos significativos. A pressão pelo fim do distanciamento é forte. Mas, qual seria o efeito do fim do distanciamento sobre o número de mortes no Estado de São Paulo? Será que, na verdade, deveríamos ir na direção contrária e adotar um *lockdown*?

O objetivo desse artigo é simular um modelo SEIR (Susceptibles, Exposed, Infected and Recovered) incorporando fatores demográficos e matrizes de contatos que foi desenvolvido por Prem, Liu, et al. (2020) para a pandemia de COVID-19, com parâmetros calibrados para o Estado de São Paulo. O modelo permite que as taxas de infecção e transmissibilidade sejam diferentes entre jovens e adultos e utiliza matrizes de contato para simular os efeitos das políticas de distanciamento.

As matrizes de contato entre os vários grupos etários dentro do domicílio, na escola, no trabalho e em outros lugares (lazer) foram derivadas por Prem, Cook, and Jit (2017), projetando as matrizes que foram originalmente calculadas a partir de pesquisas amostrais em 7 países da OCDE (Mossong et al., 2008) para os demais países do mundo, inclusive para o Brasil. A partir dessas matrizes, é possível simular o que ocorreria com as taxas de infecção e mortalidade alterando as entradas dessa matriz de contatos em função das medidas de distanciamento social.

Por exemplo, antes da pandemia, um brasileiro na faixa de 15 a 19 anos encontrava-se em média com 6 pessoas em casa por dia, com 10 pessoas na escola, 3 no trabalho e com 10 em outros lugares da cidade. Para simular os efeitos da quarentena, vamos supor que esses contatos diminuam para 50% desse total durante o período distanciamento social e para 30% durante o *lockdown* (mantendo-se apenas os serviços essenciais). Supomos também que os contatos dentro de casa aumentam 10% durante o distanciamento. Como esse modelo podemos simular também os efeitos de liberar apenas as escolas, mantendo o distanciamento no trabalho e vice-versa.

Antes de passarmos aos resultados, é importante atentar para as limitações do modelo que estamos utilizando. Em primeiro lugar, os modelos SEIR dependem de parâmetros que ainda não conhecemos com certeza. Um dos parâmetros mais importantes é o R_0 , a taxa de reprodução

básica, que depende do número de pessoas para as quais uma pessoa infectada transmite o vírus no início da epidemia e de quantos dias ela permanece infectada. Nas simulações estamos usando um R_0 igual a 3, (baseada em estimativas do Imperial College (MRC and University of Sussex, 2020)), mas as projeções variam bastante se mudarmos esse parâmetro.

Além disso, o modelo somente prevê o número de pessoas infectadas por dia. Para calcularmos o número de mortos, utilizamos as taxas de mortalidade devido ao Covid por faixa etária na China calculadas por Verity et al. (2020). Para simular a necessidade de leitos de UTI, utilizamos as estimativas de UTI de Moghadas et al. (2020), calculadas para os Estados Unidos. Finalmente, o modelo também não leva em conta o uso de máscaras, que pode diminuir o contágio mesmo sem o distanciamento.

Adiantando os resultados principais, as simulações indicam que, sem as medidas de distanciamento, atingiríamos 52.000 mortes em São Paulo até o final de maio. A imunidade de rebanho, necessária para começar a diminuir a taxa de infectados naturalmente mesmo sem a vacina, seria atingida em junho com 136.000 mortos no cenário mais provável, sem levar em conta os que morreriam por não terem sido atendidos em UTIs.

Os resultados mostram também que o número real de infectados poderá atingir 1 milhão de pessoas ao final de maio, mesmo com a atual política de distanciamento. Se o distanciamento persistir até o final de junho somente, teríamos 5.500 mortes adicionais em junho e 22.000 em julho. Além disso, precisaríamos de mais 1.000 leitos em UTI em junho e 7.000 em julho para evitar mais mortes. Vale notar que há cerca de 5.000 leitos UTI no estado de São Paulo e que já estamos operando com mais de 80% da capacidade atual, ou seja, temos apenas cerca de 1.000 leitos disponíveis. Se o distanciamento persistir até o final de agosto, teremos cerca de 10.700 mortes em julho e necessitaremos de 2.000 leitos adicionais. Mas, se fizéssemos um lockdown em junho e julho, teríamos cerca de 4.000 mortes em junho e outras tantas em julho e precisaríamos de 700 vagas adicionais de UTI em cada um desses meses.

Essa nota tem 3 seções além dessa. A **Seção 2** apresenta o modelo a ser simulado e suas hipóteses e a **Seção 3** apresenta os resultados principais das simulações. A **Seção 4** apresenta as conclusões principais e recomendações de política.

2 Metodologia

Nessa seção nós descrevemos a metodologia usada para fazer as simulações dos diferentes cenários. As simulações foram realizadas a partir de um modelo determinístico e estruturado na forma de estágios fixos no período entre fevereiro de 2020 e dezembro de 2021, chamado modelo SEIR (a partir das letras iniciais dos estágios) e desenvolvido por Prem, Liu, et al. (2020). O modelo ignora mudanças nas características populacionais e no tamanho da população e divide-se em quatro estágios entre os quais a população pode ser dividida: suscetíveis (S), expostos (E), infectados (I) e removidos (R), de modo que $S + E + I + R = \text{População}$. As pessoas suscetíveis (que nunca tiveram a doença e não possuem resistência a ela) podem contrair a doença com uma certa probabilidade quando são expostos ao contato com alguma pessoa infectada. Elas então se tornam expostas, depois infectadas e posteriormente se recuperam ou morrem.

A população foi dividida em 15 grupos etários de 5 anos e um grupo etário que abrange aqueles com 75 anos ou mais (total de 16 grupos). A composição dos contatos de cada grupo etário i com os demais grupos altera a probabilidade de exposição e contágio pela doença.

As equações de movimento de cada estado são:

$$\begin{aligned}S_{i,t+1} &= S_{i,t} - \beta S_{i,t} \sum_{j=1}^{16} C_{i,j} I_{j,t}^C \\E_{i,t+1} &= \beta S_{i,t} \sum_{j=1}^{16} C_{i,j} I_{j,t}^C - (1 - \kappa) E_{i,t} \\I_{i,t+1}^C &= \kappa E_{i,t} + (1 - \gamma) I_{i,t}^C \\R_{i,t+1} &= R_{i,t} + \gamma I_{i,t}^C\end{aligned}$$

onde β é taxa de transmissão (padronizada pelo valor do número básico de reprodução, R_0); $C_{i,j}$ é a média do número de contatos diários do grupo etário i com o grupo etário j ; $\kappa \equiv 1 - e^{-\frac{1}{d_L}}$ é a probabilidade diária de que um indivíduo exposto seja infectado (d_L é o período médio de incubação em dias); e $\gamma \equiv 1 - e^{-\frac{1}{d_I}}$ é a probabilidade diária de que um indivíduo infectado se recupere (d_I é a duração média da infecção em dias).

O modelo não simula o número de mortos pela COVID-19. O total de mortos e casos recuperados são contabilizados entre os removidos (R). Além disso, estamos supondo que há imu-

nidade entre aqueles que são removidos e são curados, de modo que eles não se tornam novamente suscetíveis. Os autores utilizam parâmetros no modelo que são estimados por outros artigos, conforme a Tabela 1. Para a construção de um intervalo de confiança, os autores sorteiam 200 valores de R_0 , a partir de uma distribuição uniforme do intervalo de confiança do 95% estimado por Kucharski et al. (2020) (valores mostrados na Tabela 1).

Parâmetro	Valor	Referência
Numero Básico de Reprodução (R_0)	3	MRC and University of Sussex (2020)
Período de Incubação (d_I)	6,4 dias	Prem, Liu, et al. (2020)
Duração Média da Infecção (d_I)	7 dias	Prem, Liu, et al. (2020)
Número Inicial de Infectados (I_0)	200	Prem, Liu, et al. (2020)
Pr. de infectados ter sintomas ($\rho_i, i \leq 4$)	0 ou 0,4	Prem, Liu, et al. (2020)
Pr. de infectados ter sintomas ($\rho_i, i > 4$)	0 ou 0,8	Prem, Liu, et al. (2020)
Pr. de a infecção ser adquirida por caso assintomático (α)	0,25	Prem, Liu, et al. (2020)

Table 1: Parâmetros Utilizados no Modelo SEIR

Os contatos diários de cada grupo etário i com os demais grupos etários j ($C_{i,j}$) são organizados em matrizes de contato, estimadas por Prem, Cook, and Jit (2017) para 152 países, incluindo a China. Essas matrizes foram estimadas para 4 locais de contatos diferentes: o domicílio, o trabalho, a escola e outros locais, e os parâmetros $C_{i,j}$ são a soma das médias de contatos do grupo etário i com o grupo etário j dos quatro locais, sem nenhum peso. As estimativas foram realizadas para 152 países a partir de pesquisa realizadas em países europeus sobre os contatos realizados por uma amostra pessoas ao longo de um dia sorteado aleatoriamente (Prem, Cook, and Jit, 2017). Utilizamos as matrizes estimadas para o Brasil como todo.

Uma limitação adicional da implementação dos modelos SEIR no momento atual é de que eles dependem de parâmetros que ainda não foram estabelecidos pela literatura acadêmica. Por exemplo, um dos parâmetros mais importantes é o R_0 , a taxa de reprodução básica, que depende do número de pessoas para as quais uma pessoa infectada transmite o vírus e de quantos dias essa pessoa permanece infectada. Nessas simulações estamos usando um R_0 igual a 3 (baseada em estimativas do Imperial College (MRC and University of Sussex, 2020)), mas as projeções variam bastante se trabalharmos com valores diferentes para esse parâmetro. Para mostrar a sensibilidade dos resultados à variação desse parâmetro, nós apresentaremos adicionalmente os resultados para

R_0 com valores 2,5 e 3,5. Finalmente, a evolução do número de pessoas infectadas em cada mês depende do número inicial de infectados no início da pandemia, que supusemos ser igual a 3000 para chegarmos perto do número previsto de mortos em São Paulo em maio.

Para simular os efeitos das medidas de distanciamento social nós alteramos os números da matriz de contatos entre as pessoas, conforme descrito na introdução dessa nota. Uma vez obtidos o número de infectados, nós calculamos a mortalidade, o número de hospitalizações, e de utilização de leitos de Unidades de Tratamento Intensivo (UTI). Nós utilizamos a razão infecção/fatalidade por faixas etárias calculadas por Verity et al. (2020) para a China, além das proporção de casos que necessita de hospitalização e da proporção de hospitalizados por COVID-19 que precisa ir para a UTI de Moghadas et al. (2020), calculadas para os Estados Unidos.

Além disso, nós calculamos o número de óbitos por COVID-19 que ocorreriam caso considerássemos a escassez de leitos de UTI. Consideramos o número de leitos de UTI do SUS no estado de São Paulo em Janeiro de 2020 obtido pelos dados do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) do Sistema Único de Saúde (SUS). Seguindo os critérios de Noronha et al. (2020), não contabilizamos os leitos de UTI que eram pediátricos, neo-natal e queimados e obtivemos um total de 7.108 leitos. Para a contabilização dos óbitos com escassez de leitos nós supusemos que o estoque de leitos é comum a todos os municípios do estado e que a cada dia, um percentual de novos infectados irá precisar de UTI a partir da proporção de hospitalizações por casos de COVID-19 e da proporção de uso de UTI por hospitalização por COVID-19. Esse grupo se defronta com o total acumulado de pessoas utilizando os leitos, a partir do período médio de permanência de pacientes em UTI até que venham a falecer, de 7 dias (Moghadas et al., 2020). Esse período é menor do que o período de recuperação, de modo que as simulações podemos estar subestimando a escassez de leitos. No caso daqueles que entram no UTI, supusemos que eles possuem uma distribuição de idade semelhante àquela dos casos confirmados e aplicamos a razão infecção fatalidade. Além disso, utilizamos a hipótese de que todos aqueles que não conseguem entrar em leitos de UTI irão falecer.

Para a parametrização com dados do estado de São Paulo, nós utilizamos estimativas da população por idade a partir dos dados de divulgação anual da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) de 2018.

3 Resultados

Essa seção mostra os resultados principais das simulações. Mostraremos primeiramente uma comparação entre diferentes cenários para a implementação das medidas de isolamento social. Em todos os cenários, consideramos que as escolas foram fechadas a partir de dia 23/03/2020 e a quarentena começou um dia depois, no dia 24/03/2020. Procuramos trabalhar com diferentes períodos de duração da quarentena e do *lockdown*, para explorar as possíveis consequências da extensão dos períodos de intervenção e do aumento de restrições sobre a circulação de pessoas. Os cenários possuem as seguintes características:

- Cenário 1: sem quarentena nem *lockdown*
- Cenário 2: quarentena até 30/06/2020, sem *lockdown*
- Cenário 3: quarentena até 31/08/2020, sem *lockdown*
- Cenário 4: quarentena até 31/05/2020 e *lockdown* de 01/06/2020 a 31/07/2020
- Cenário 5: quarentena até 31/05/2020 e *lockdown* de 01/06/2020 a 31/08/2020

A Tabela 2 mostra o número de novos casos somados por mês ao longo do ano de 2020. Em primeiro lugar, caso não fosse tomada nenhuma medida de isolamento, teríamos o maior número de infectados de todos os cenários, 36,8 milhões. Nesse cenário, o número de casos aumentaria rapidamente entre Fevereiro e Maio, chegando nesse último mês a 14,3 milhões de novos casos. Em Junho, teríamos o pico do número de novos casos (16,4 milhões), e a partir de então, os novos casos passariam a se reduzir aceleradamente, chegando a pouco mais de 100 no final de 2020. Em todos os cenários em que há alguma intervenção, quarentena e/ou *lockdown*, os números totais de infectados em 2020 são menores, porém com magnitude semelhante, variando entre 35 milhões no cenário 3 e 36,4 milhões no cenário 2. A grande diferença entre os cenários parece residir na distribuição dos novos casos ao longo do tempo. No cenário 2, com quarentena até o final de Junho, a restrição ao número de contatos de 50% não é suficiente para impedir o aumento no número de novos casos durante a quarentena, porém o ritmo de crescimento é comparativamente menor do que no cenário 1. Até o fim da quarentena, haveria um total de 2,4 milhões de infectados no cenário 2, enquanto que no cenário 1 haveria 32,4 milhões. Após o fim da quarentena, o número

de casos do cenário 2 passa a aumentar aceleradamente, atingindo o pico do número de novos casos Agosto (18,4 milhões). No cenário 3, em que haveria quarentena até o final de Agosto, o número total de infectados até o fim da quarentena seria de 8,7 milhões, contra 36,8 milhões no cenário 1. Após o fim da quarentena, os novos casos atingiriam o pico em Outubro (12,2 milhões) e chegariam ao fim do ano ainda com 872 mil novos casos.

Nos cenários 4 e 5, introduzimos o *lockdown* a partir de Junho, terminando, respectivamente, no final de Julho e de Agosto. A restrição dos contatos para 30% dos valores antes da pandemia durante o *lockdown* faz com que o número de novos casos se reduza. No cenário 4, durante os novos casos passam de 938 mil em Junho para 933 mil em Julho. No cenário 5, há uma nova redução de 933 mil em Julho para 860 mil em Agosto. Apesar dessa redução, os números totais de casos são maiores nesses cenários em comparação ao cenário 2, devido ao fato de que há comparativamente mais pessoas suscetíveis à doença no final do período de intervenção dos cenários 4 e 5. Após o fim do *lockdown*, no cenário 4, o número de novos casos aumenta aceleradamente e o pico de novos casos ocorre em Setembro (15,6 milhões). No cenário 5, o pico de novos casos ocorre em Outubro e é maior do que aquele do cenário 2 (14,4 milhões).

Mês	Casos Novos					Acumulado				
	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020
2	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410
3	107.166	95.394	95.394	95.394	95.394	110.576	98.803	98.803	98.803	98.803
4	1.677.532	298.399	298.399	298.399	298.399	1.788.107	397.202	397.202	397.202	397.202
5	14.308.514	677.318	677.318	677.318	677.318	16.096.621	1.074.520	1.074.520	1.074.520	1.074.520
6	16.361.118	1.339.618	1.339.618	938.138	938.138	32.457.739	2.414.138	2.414.138	2.012.658	2.012.658
7	3.820.565	7.034.728	2.529.928	933.429	933.429	36.278.304	9.448.866	4.944.067	2.946.087	2.946.087
8	494.897	18.408.862	3.821.868	3.802.593	859.752	36.773.201	27.857.728	8.765.935	6.748.680	3.805.839
9	58.342	7.203.017	8.962.721	15.621.916	3.036.505	36.831.543	35.060.744	17.728.656	22.370.596	6.842.344
10	7.384	1.223.780	12.237.929	11.218.978	14.379.680	36.838.926	36.284.525	29.966.585	33.589.573	21.222.024
11	852	159.744	4.174.111	2.215.722	11.482.177	36.839.778	36.444.269	34.140.696	35.805.295	32.704.201
12	107	21.986	872.561	342.651	2.754.440	36.839.885	36.466.255	35.013.256	36.147.946	35.458.640
Total	36.839.885	36.466.255	35.013.256	36.147.946	35.458.640					

Nota - A população do estado de São Paulo em 2019 é de 45.532.653

Table 2: Novos Casos por Mês e Cenário

A visualização da evolução dos novos casos fica mais clara com a Figura 1, que mostra o número diário de novos casos entre o final de Fevereiro de 2020 e Dezembro de 2021 nos cinco

cenários. Podemos notar que a linha que representa o cenário 1, em que não há quarentena, está mais deslocada à esquerda, é mais concentrada no tempo e apresenta um pico maior que as linhas dos demais cenários. As linhas dos cenários 2 e 3, que possuem quarentena, mas não *lockdown* mostram trajetórias semelhantes até o final de Junho. A linha do cenário 2 passa a aumentar aceleradamente com o fim da quarentena, enquanto a linha do cenário 3 apresenta crescimento ainda atenuado até o final de Agosto. A partir de então, ela cresce aceleradamente, porém apresenta um pico comparativamente menor do que o dos demais cenários. Nos cenários em que há *lockdown*, as trajetórias das linhas são ligeiramente decrescentes entre o início de Junho e o final de Julho. Quando o *lockdown* é liberado no cenário 4, o número de casos passa a aumentar e atinge um pico um pouco inferior ao do cenário 2. A linha que representa o cenário 5 continua a decrescer ligeiramente até o fim do *lockdown*, passando a aumentar aceleradamente e chegando a um pico menor do que o do cenário 4. Em nenhum dos cenários há um número relevante de casos novos a partir de Fevereiro de 2021.

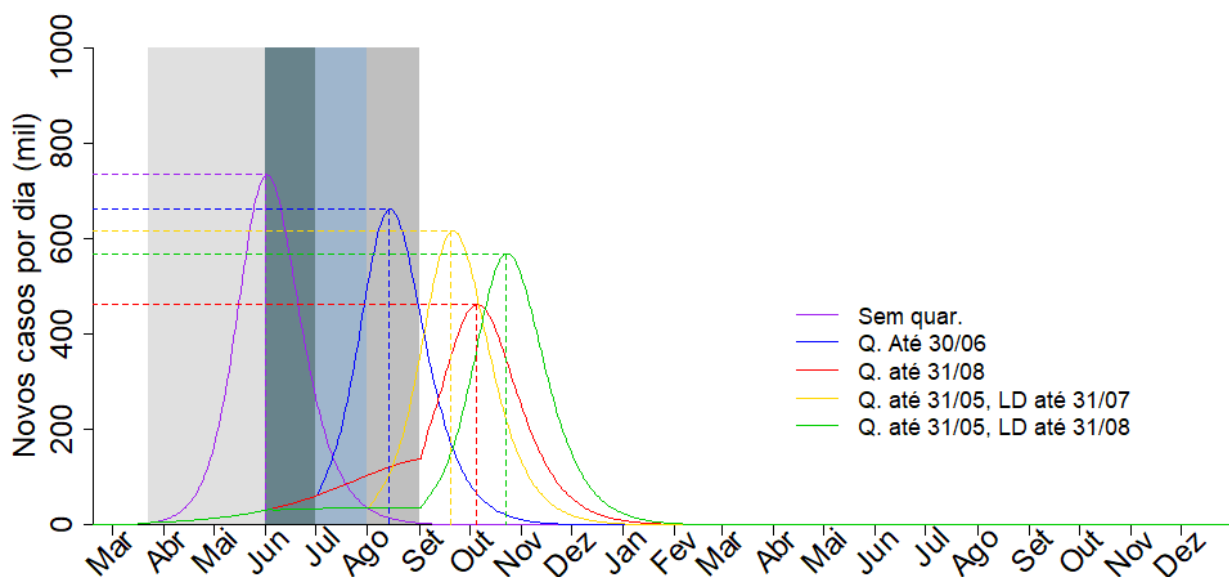


Figure 1: Novos Casos Diário por Cenário

A Figura 2 mostra os casos diários acumulados ao longo do tempo e fica mais claro que a diferença entre os cenários é principalmente em relação ao momento de crescimento dos casos. No cenário 1, os novos casos se concentram nos primeiros meses após a chegada da COVID-19 no Brasil, enquanto nos demais cenários, o total acumulado de casos aumenta mais lentamente e se distribui mais ao longo do tempo. No final de 2021, os valores finais do total de casos em cada

cenário também se diferenciam, sendo máximo para o cenário 1 e mínimo para o cenário 3.

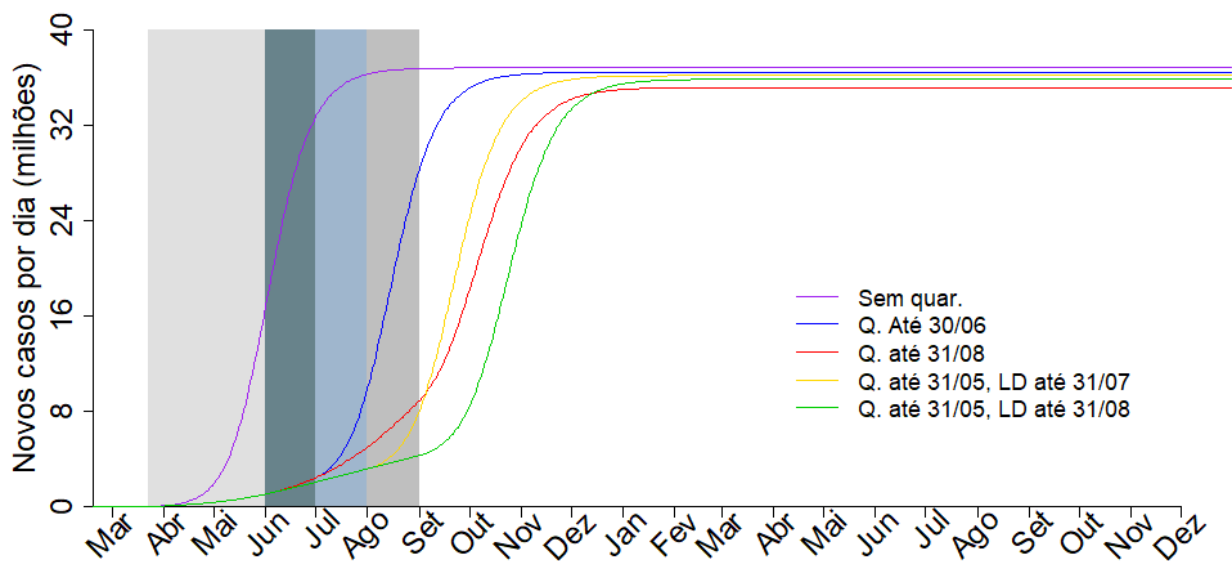


Figure 2: Novos Casos Diário por Cenário

A Figura 3 mostra os novos casos acumulados para cada cenário e faixas de idade. Podemos observar a composição por idade dos infectados é semelhante entre os cenários. A maioria dos infectados é daqueles com entre 20 e 60 anos de idade, sendo seguidos por aqueles com até 20 anos de idade. O grupo com menor número de infectados é o daqueles com 60 ou mais anos de idade. No final de 2021, cerca de 28% dos infectados em todos os cenários pertence ao grupo com até 20 anos de idade, cerca de 61% pertence ao grupo com 20 a 60 anos de idade, e os demais 11% são de pessoas com 60 ou mais anos de idade. Em comparação com a distribuição da população no estado de São Paulo (respectivamente, de 26%, 57% e 17%), esses percentuais são um pouco maiores para os dois primeiros grupos e menor para o último.

A Tabela 3 mostra uma comparação do número de casos por mês para diferentes valores do R_0 . Em primeiro lugar, com valores maiores de R_0 , cada indivíduo infectado possui uma probabilidade maior de transmitir a doença para os indivíduos expostos, de modo que o processo de transmissão é acelerado e os picos de novos casos são adiantados. Além disso, podemos observar que no geral valores maiores do R_0 aumentam o total de infectados no final de 2020. No caso do cenário sem quarentena, a simulação com o R_0 de 3 apresenta um total de infectados no final de 2020 11% maior em relação à simulação com o R_0 de 2,5, e a simulação com R_0 de 3,5 resulta em um total de infectados 6% maior do que o da simulação com R_0 de 3. A interação do timing de

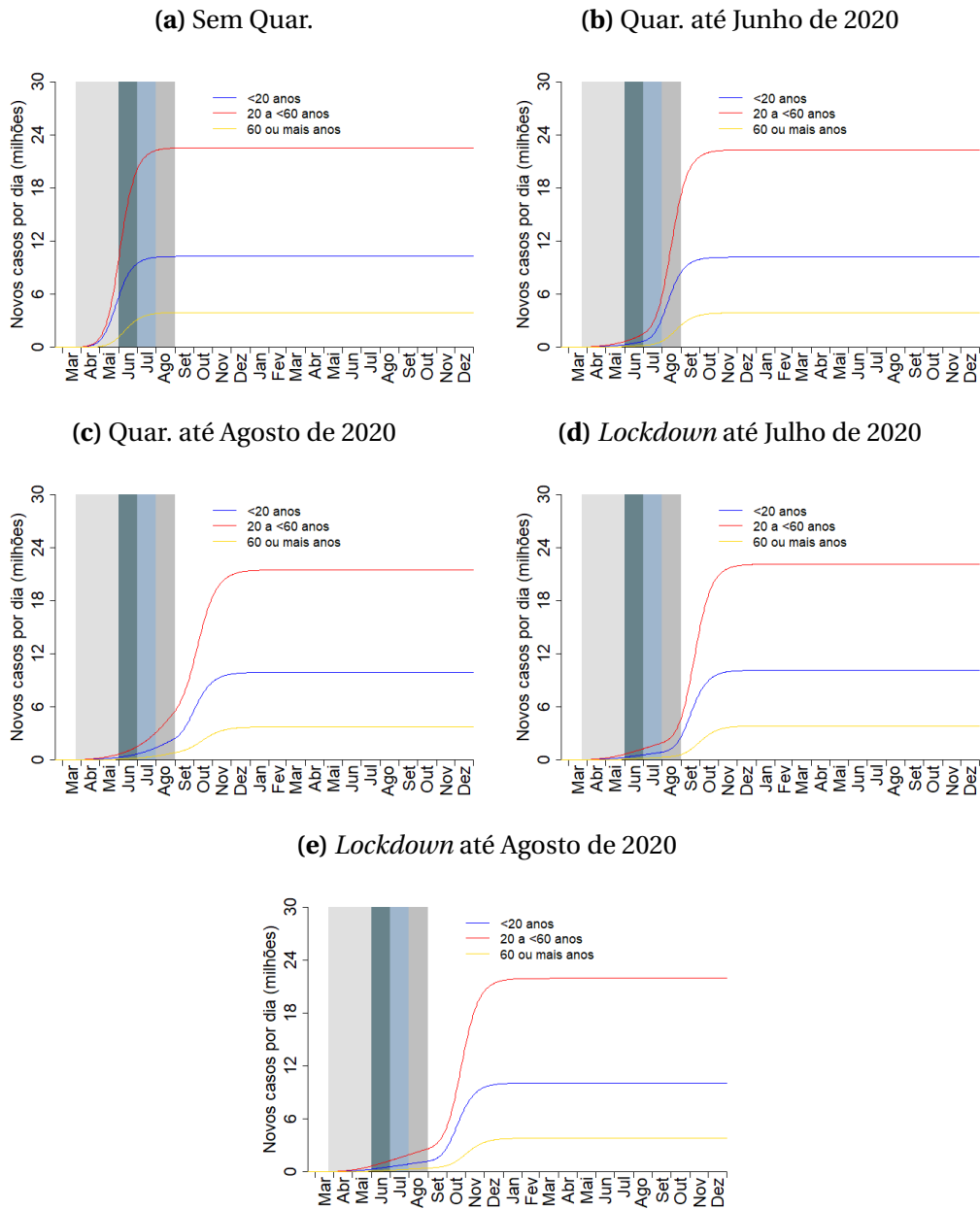


Figure 3: Novos Casos Diário por Cenário e Faixa de Idade

crescimento dos novos casos com os diferentes valores do R_0 com os períodos de quarentena e de *lockdown* alteram o total de infectados, porém as diferenças entre os diferentes cenários parece se manter com os valores de R_0 utilizados.

Mês	Casos Novos														
	R0=2,5					R0=3					R0=3,5				
	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020
2	2.735	2.735	2.735	2.735	2.735	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	4.130	4.130	4.130	4.130	4.130
3	54.484	49.571	49.571	49.571	49.571	107.166	95.394	95.394	95.394	95.394	199.687	174.094	174.094	174.094	174.094
4	500.579	103.486	103.486	103.486	103.486	1.677.532	298.399	298.399	298.399	298.399	4.666.464	774.881	774.881	774.881	774.881
5	4.262.206	156.841	156.841	156.841	156.841	14.308.514	677.318	677.318	677.318	677.318	23.919.667	2.405.820	2.405.820	2.405.820	2.405.820
6	13.869.542	217.132	217.132	156.964	156.964	16.361.118	1.339.618	1.339.618	938.138	938.138	9.186.386	5.431.342	5.431.342	3.851.296	3.851.296
7	11.004.134	927.372	315.797	118.358	118.358	3.820.565	7.034.728	2.529.928	933.429	933.429	1.061.235	15.855.345	8.114.296	3.679.088	3.679.088
8	2.924.925	6.369.147	437.285	372.946	86.218	494.897	18.408.862	3.821.868	3.802.593	859.752	94.078	11.313.053	6.303.883	8.805.783	2.738.881
9	541.338	14.478.753	1.546.704	2.844.630	249.729	58.342	7.203.017	8.962.721	15.621.916	3.036.505	8.026	1.875.449	4.930.674	12.433.400	5.226.442
10	100.835	8.401.248	8.567.069	12.191.004	2.141.072	7.384	1.223.780	12.237.929	11.218.978	14.379.680	745	243.058	3.790.830	4.116.252	10.423.533
11	17.039	1.973.770	13.621.449	12.094.575	10.115.685	852	159.744	4.174.111	2.215.722	11.482.177	63	27.389	1.566.342	685.249	5.176.962
12	3.111	393.316	6.219.050	4.027.933	13.626.430	107	21.986	872.561	342.651	2.754.440	6	3.331	533.971	109.253	1.307.822
Total	33.280.929	33.073.372	31.237.119	32.119.043	26.807.089	36.839.885	36.466.255	35.013.256	36.147.946	35.458.640	39.140.488	38.107.893	34.030.264	37.039.247	35.762.949

Table 3: Comparação de Novos Casos por Mês e Cenário, segundo o R_0 do Modelo

Calculamos a mortalidade total por mês a partir dos infectados na Tabela 4. Como nós aplicamos a razão infectado fatalidade para os casos de infectados, a dinâmica do número simulado de óbitos devido à COVID-19 é semelhante àquele do total de novos casos. O total de óbitos no cenário em que não há quarentena é de 170 mil. Entre os demais cenários, os cenários 3 e 5 (que estendem a quarentena ou *lockdown* até o final de Agosto) possuem os menores números, de cerca de 161 mil. No cenário 2, o total de óbitos no final de 2020 seria de 168 mil, enquanto no cenário 4, chegaria a 166 mil. É importante notar que nos cálculos da Tabela 4, nós não estamos considerando a escassez de leitos de UTI, que pode gerar um número considerável de óbitos (como veremos na Tabela 7).

Mês	Óbitos						Acumulado					
	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020	Ób. Conf.	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020	Ób. Conf.
2	11	11	11	11	11	0	11	11	11	11	11	0
3	288	275	275	275	275	136	299	286	286	286	286	136
4	4.492	1.184	1.184	1.184	1.184	2.239	4.792	1.470	1.470	1.470	1.470	2.375
5	47.646	2.770	2.770	2.770	2.770	-	52.437	4.240	4.240	4.240	4.240	-
6	83.881	5.549	5.549	4.195	4.195	-	136.318	9.789	9.789	8.435	8.435	-
7	29.012	22.108	10.725	4.387	4.387	-	165.330	31.898	20.514	12.822	12.822	-
8	4.468	78.055	16.854	11.681	4.086	-	169.798	109.953	37.368	24.503	16.908	-
9	553	46.764	32.531	58.487	9.403	-	170.351	156.717	69.899	82.990	26.310	-
10	71	10.129	57.298	63.346	52.518	-	170.422	166.846	127.197	146.337	78.828	-
11	8	1.433	26.907	17.013	62.076	-	170.430	168.280	154.104	163.350	140.904	-
12	1	202	6.576	2.949	20.277	-	170.431	168.481	160.680	166.299	161.181	-
Total	170.431	168.481	160.680	166.299	161.181	2.375						

Nota - A mortalidade por COVID-19 foi calculado com base nas razões infectados fatalidade estimadas por Verity et al. (2020) e no número simulado de infectados.

Table 4: Mortalidade por COVID-19 por Mês e Cenário

A Figura 5 mostra o total de óbitos diários acumulados para cada cenário. Seguindo a dinâmica dos novos casos, os óbitos do cenário 1 sobem mais aceleradamente até o final de Junho, enquanto nos demais cenários, os óbitos aumentam mais nos meses posteriores.

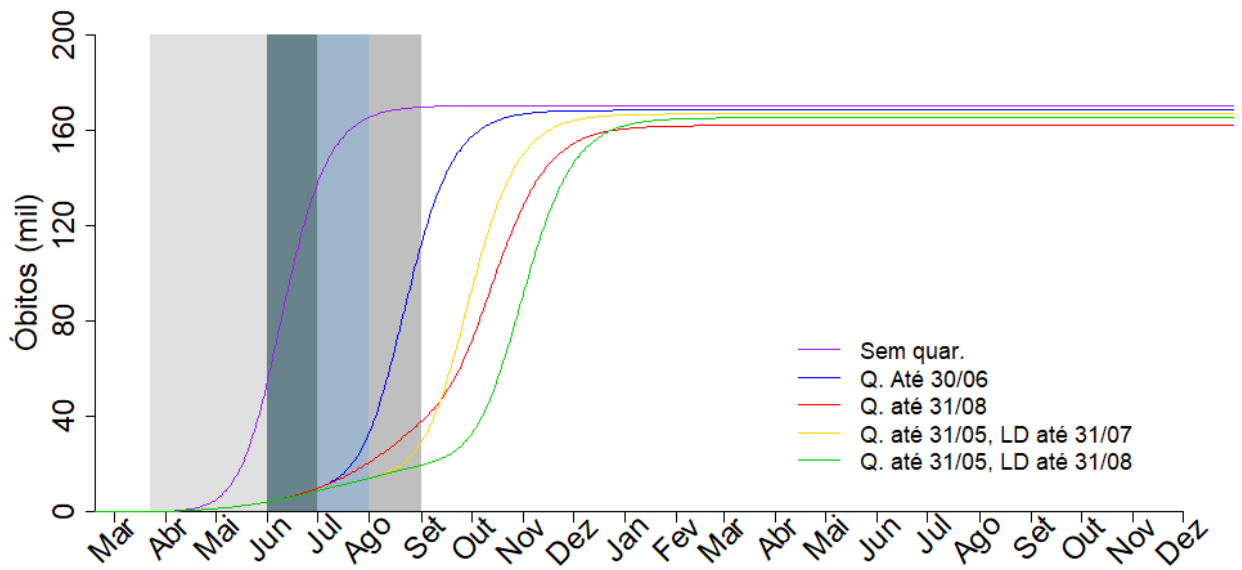


Figure 5: Mortalidade Diária Acumulada por Cenário

Na Figura 6, podemos observar os números acumulados de óbitos diários por faixas de idade em cada cenário. Nesse caso, Podemos notar que o grupo com o maior número de óbitos é o daqueles com 60 anos ou mais de idade em todos os cenários, apesar de representarem somente cerca de 10% dos infectados.

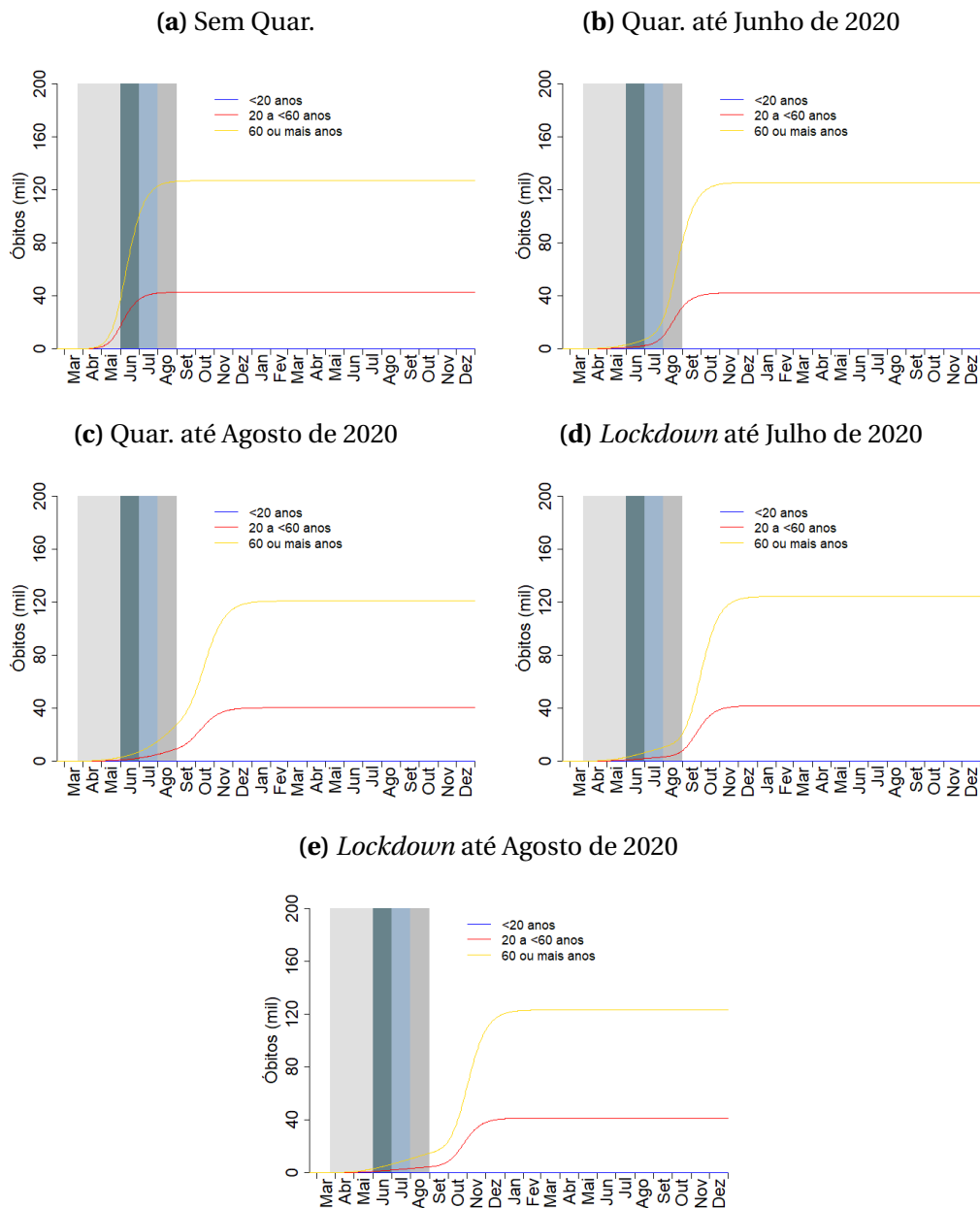


Figure 6: Óbitos Diário por Cenário e Faixa de Idade

As hospitalizações devidas à COVID-19 são mostradas na Tabela 4. Nela, mostramos o máximo de leitos ocupados em cada mês, quando supomos que as pessoas que são hospitalizadas a cada dia permanecem um total de 10 dias internadas. Podemos notar que nos cenários 3 e 5, em que a extensão da quarentena e do *lockdown* são maiores, as internações necessárias são menores. No cenário 2, essas internações chegam a 170 mil em Outubro, e no cenário 5, a 217 mil em Novembro. Podemos comparar esses valores ao número de leitos do SUS, obtidos nos dados do CNES/SUS seguindo os critérios de Noronha et al. (2020), de aproximadamente 59 mil. É preciso lembrar ainda que o número de leitos do SUS é ocupado por pacientes com diversas doenças e que os números da Tabela 5 são de pacientes adicionais devido à COVID-19.

Mês	Hospitalizações				
	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020
2	105	105	105	105	105
3	1.842	1.632	1.632	1.632	1.632
4	28.931	4.489	4.489	4.489	4.489
5	232.893	9.932	9.932	9.932	9.932
6	275.208	19.809	19.809	11.746	11.746
7	166.319	118.302	35.483	11.746	11.746
8	29.051	245.864	50.856	64.431	11.293
9	3.716	224.233	137.689	229.879	51.656
10	475	62.486	170.138	231.916	211.345
11	56	9.372	131.336	100.253	217.824
12	7	1.318	37.800	18.623	113.410

Nota - O número de pacientes por COVID-19 em hospitais foi calculado com base nas proporções de infectados por COVID-19 que vão para a hospital, estimadas por Verity et al. (2020), e no número simulado de infectados. Adicionalmente, utilizamos a hipótese de que cada entrada no hospital dura 10 dias (Moghadas et al., 2020), com qualquer tipo de desfecho (recuperação ou falecimento). Nós realizamos os cálculos com frequência diária e apresentamos o número máximo de pacientes no hospital em cada mês. O número de leitos do SUS (cirúrgicos ou clínicos) no estado de São Paulo era de 58.714 em Janeiro de 2020. Fonte: Tabnet/DataSUS; CNES.

Table 5: Hospitalizações por COVID-19 por Mês e Cenário

Na Tabela 6, mostramos os leitos de UTI demandados por infectados pela COVID-19. Nessa tabela, também mostramos o máximo mensal das vagas necessárias, supondo que cada pessoa internada na UTI permanece por 7 dias. A dinâmica é semelhante àquela da demanda por leitos de hospitais, apresentando picos menores nos cenários 3 e 5. Seguindo os critérios indicados por Noronha et al. (2020), o total de leitos de UTI do SUS no estado de São Paulo é de 7.108. Esse número é ultrapassado em todos os cenários.

Mês	Utilização de UTI				
	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020
2	7	7	7	7	7
3	107	95	95	95	95
4	1.680	262	262	262	262
5	13.296	578	578	578	578
6	15.636	1.152	1.152	686	686
7	9.632	6.792	2.062	686	686
8	1.754	14.003	2.955	3.708	660
9	228	12.807	7.865	13.081	2.971
10	29	3.703	9.717	13.192	12.031
11	3	568	7.553	5.854	12.389
12	0	80	2.226	1.119	6.582

Nota - O número de pacientes por COVID-19 em leitos de UTI foi calculado com base nas proporções de hospitalizações por COVID-19 que vão para a UTI, estimadas por Moghadas et al. (2020), e no número de hospitalizações por COVID-19. Adicionalmente, utilizamos a hipótese de que cada entrada na UTI dura 7 dias, com qualquer tipo de desfecho (recuperação ou falecimento). Nós realizamos os cálculos com frequência diária e apresentamos o número máximo de pacientes na UTI em cada mês. O número de leitos de UTI do SUS (somente de adultos ou UTI coronariana) no estado de São Paulo era de 7.108 em Janeiro de 2020. Fonte: Tabnet/DataSUS; CNES.

Table 6: Utilização de leitos de UTI por COVID-19 por Mês e Cenário

A Tabela 7 mostra o total de óbitos se considerarmos a escassez de leitos de UTI do SUS. Podemos notar que os totais de óbitos quando levamos em consideração a escassez de leitos de UTI é substancialmente maior do que os totais da Tabela 5. Nos cenários 1, 2 e 4, em que os picos de internações na UTI são maiores, os totais de óbitos são, respectivamente, 48%, 43% e 41% maiores do que os cálculos da Tabela 5. Nos cenários 3 e 5, os totais de óbitos são, respectivamente, 25% e 38% maiores do que no exercício sem escassez de UTI.

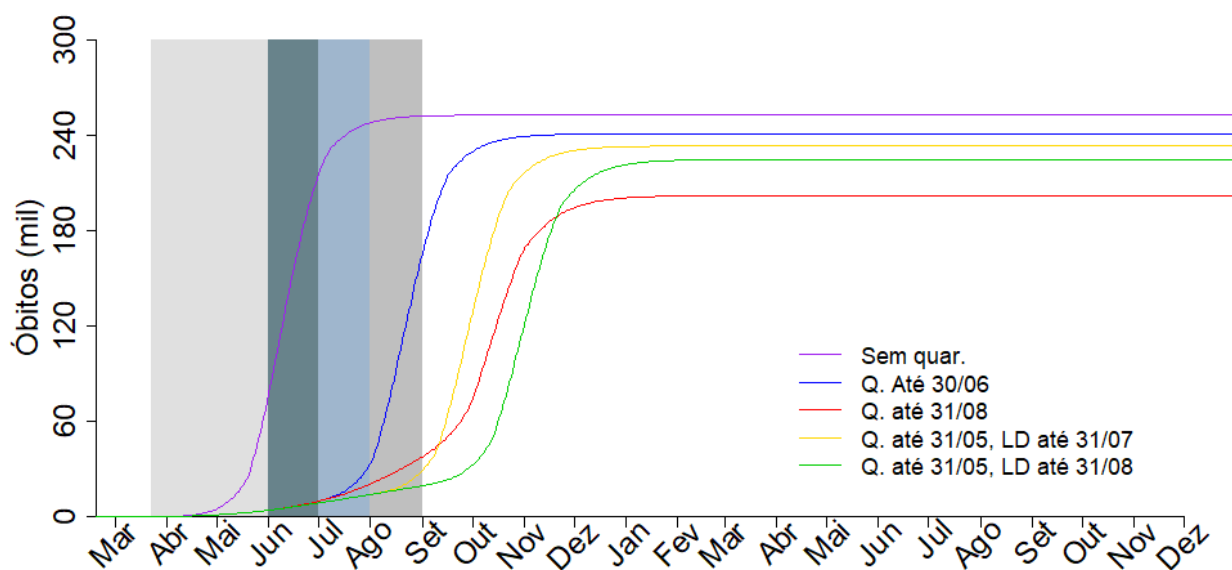


Figure 8: Mortalidade Diária Acumulada por Cenário, levando em conta a escassez de UTI

Mês	Óbitos						Acumulado					
	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020	Ób. Conf.	Sem quar.	Quar. até Jun. 2020	Quar. até Ago. 2020	Ld. em Jun. e Jul. 2020	Ld. em Jun. a Ago. 2020	Ób. Conf.
2	11	11	11	11	11	0	11	11	11	11	11	0
3	288	275	275	275	275	136	299	286	286	286	286	136
4	4.492	1.184	1.184	1.184	1.184	2.239	4.792	1.470	1.470	1.470	1.470	2.375
5	67.640	2.770	2.770	2.770	2.770	-	72.431	4.240	4.240	4.240	4.240	-
6	140.255	5.549	5.549	4.195	4.195	-	212.686	9.789	9.789	8.435	8.435	-
7	35.067	22.108	10.725	4.387	4.387	-	247.754	31.898	20.514	12.822	12.822	-
8	4.468	129.508	16.854	11.681	4.086	-	252.221	161.406	37.368	24.503	16.908	-
9	553	67.802	34.108	88.529	9.403	-	252.775	229.207	71.476	113.033	26.310	-
10	71	10.129	95.138	100.766	75.961	-	252.846	239.336	166.614	213.798	102.271	-
11	8	1.433	27.539	17.013	100.653	-	252.854	240.770	194.153	230.811	202.924	-
12	1	202	6.576	2.949	20.277	-	252.855	240.971	200.729	233.760	223.202	-
Total	252.855	240.971	200.729	233.760	223.202	2.375						

Nota - Nessas simulações, consideramos o acúmulo de pacientes em UTIs nos 6 dias anteriores e comparamos com as vagas em UTIs do SUS. Os novos casos que precisam de UTI e conseguem entrar em vagas de UTI vão ter óbitos a uma taxa igual àqueles que não precisam ser internados. Os novos casos que precisam de UTIs, mas não conseguem entrar, vão ter 100% de óbitos. Os cálculos são feitos com dados diários e somados por mês.

Table 7: Mortalidade por COVID-19 por Mês e Cenário, Levando em Conta Escassez de UTI

A Figura 8 mostra os número de óbitos diários acumulados para cada cenário, quando levamos em consideração o limite de leitos de UTI. Podemos notar que timing do crescimento das curvas é semelhante ao da Figura 5, porém a velocidade de crescimento é maior e as diferenças entre os cenários são também comparativamente maiores.

Para avaliar a relevância que cada local possui sobre os resultados, nas Tabelas 8 a 10 nós

mostraremos os resultados do cenário 3, liberando depois do fim da quarentena:

- Situação 1: situação sem quarentena
- Situação 2: somente as escolas
- Situação 3: escolas e o trabalho
- Situação 4: escolas, trabalho e a circulação de jovens de até 20 anos nos outros locais
- Situação 5: todas as pessoas em todos os locais

A Tabela 8 mostra os novos casos em cada uma dessas situações. Quando liberamos somente as escolas, o total de infectados é de 27,8 milhões no final de 2020. Na situação 2, se liberamos adicionalmente o trabalho, esse número aumenta 4,2 milhões, chegando a 32 milhões. A liberação da circulação de jovens por outros locais na situação 3 aumenta o número de infectados em 1,5 milhões e quando liberamos adicionalmente aqueles com 20 ou mais anos, na situação 4, o total de infectados aumenta em 2,6 milhões.

Mês	Casos Novos					Acumulado				
	Sem quar.	Escolas	Esc. e trab.	Esc., trab. e Out. (<20 anos)	Todos os Locais	Sem quar.	Escolas	Esc. e trab.	Esc., trab. e Out. (<20 anos)	Todos os Locais
2	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410	3.410
3	107.166	95.394	95.394	95.394	95.394	110.576	98.803	98.803	98.803	98.803
4	1.677.532	298.399	298.399	298.399	298.399	1.788.107	397.202	397.202	397.202	397.202
5	14.308.514	677.318	677.318	677.318	677.318	16.096.621	1.074.520	1.074.520	1.074.520	1.074.520
6	16.361.118	995.592	995.592	995.592	938.138	32.457.739	2.070.112	2.070.112	2.070.112	2.012.658
7	3.820.565	1.106.311	1.106.311	1.106.311	933.429	36.278.304	3.176.422	3.176.422	3.176.422	2.946.087
8	494.897	2.406.929	3.002.981	3.717.800	3.802.593	36.773.201	5.583.352	6.179.403	6.894.222	6.748.680
9	58.342	6.987.519	9.798.517	12.927.751	15.621.916	36.831.543	12.570.871	15.977.920	19.821.973	22.370.596
10	7.384	9.033.571	10.920.507	10.383.960	11.218.978	36.838.926	21.604.442	26.898.427	30.205.933	33.589.573
11	852	4.596.891	4.078.160	2.748.010	2.215.722	36.839.778	26.201.333	30.976.587	32.953.943	35.805.295
12	107	1.590.016	1.040.487	559.600	342.651	36.839.885	27.791.349	32.017.075	33.513.543	36.147.946
Total	36.839.885	27.791.349	32.017.075	33.513.543	36.147.946					

Nota - A população do ESP em 2019 é de 45.532.653

Table 8: Novos Casos por Mês e Locais Liberados

A Figura 9 mostra esses números com uma frequência diária. Podemos observar que quando liberamos sucessivamente a circulação nos diferentes locais, o crescimento é mais acelerado e o pico é ligeiramente antecipado.

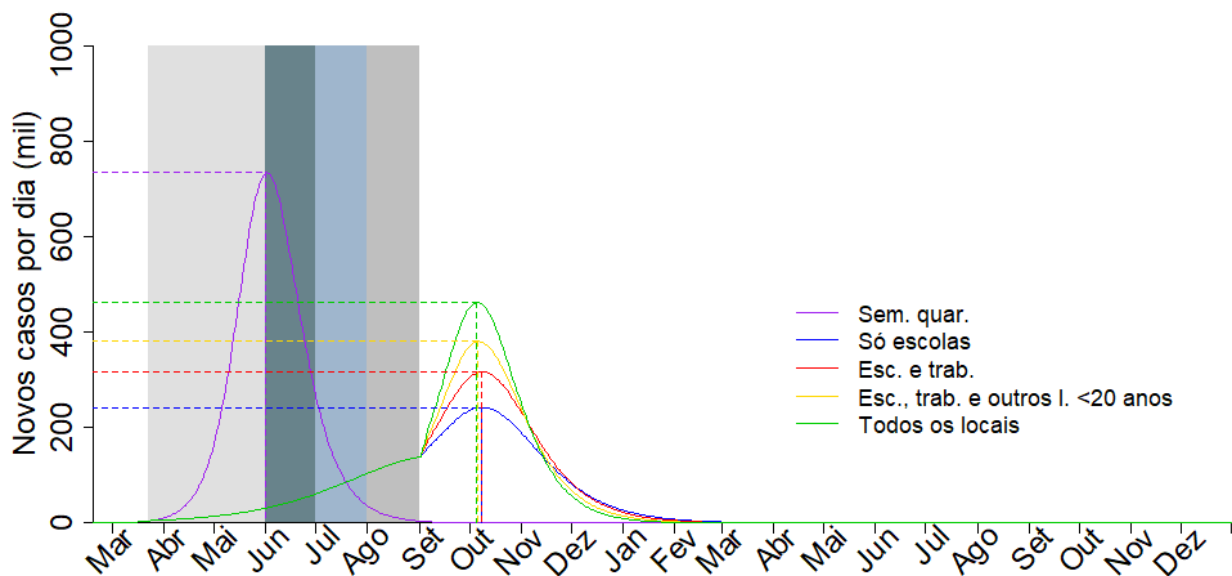


Figure 9: Incidência Diária por Situação

Na Figura 9 mostramos os novos casos diários acumulados em cada uma dessas situações. Fica claro que o salto entre as diferentes situações no final das séries são maiores quando passamos da situação 2 para a 3, e quando passamos da situação 4 para a 5.

A Figura 11 mostra o número de casos acumulados por situação em cada faixa de idade. Apesar das diferenças entre as escalas, os o grupo de idade com o maior número de casos é o daqueles com entre 20 e 60 anos em todas as situações, seguidos por aqueles com até 20 anos. Podemos observar no painel a), que o maior salto no acumulado no final do período ocorre entre as situações 3 e 4. No painel b), entre aqueles com entre 20 e 60 anos, os maiores saltos ocorrem quando entre as situações 2 e 3, e entre as situações 4 e 5. Por último, no painel c), entre aquele com 60 anos ou mais o maior salto ocorre entre as situações 4 e 5.

A Tabela 9 mostra que quando fazemos a comparação sucessiva das situações com diferentes locais liberados da quarentena, a variação da situação 2 para a situação 3 faz o total de óbitos aumentar 18,1 mil no final de 2020. Passando da situação 3 para a situação 4, o número de óbitos aumentara em 5,8 mil. Por último, passando da situação 4 para a situação 5, o número de óbito aumenta em 19,3 mil.

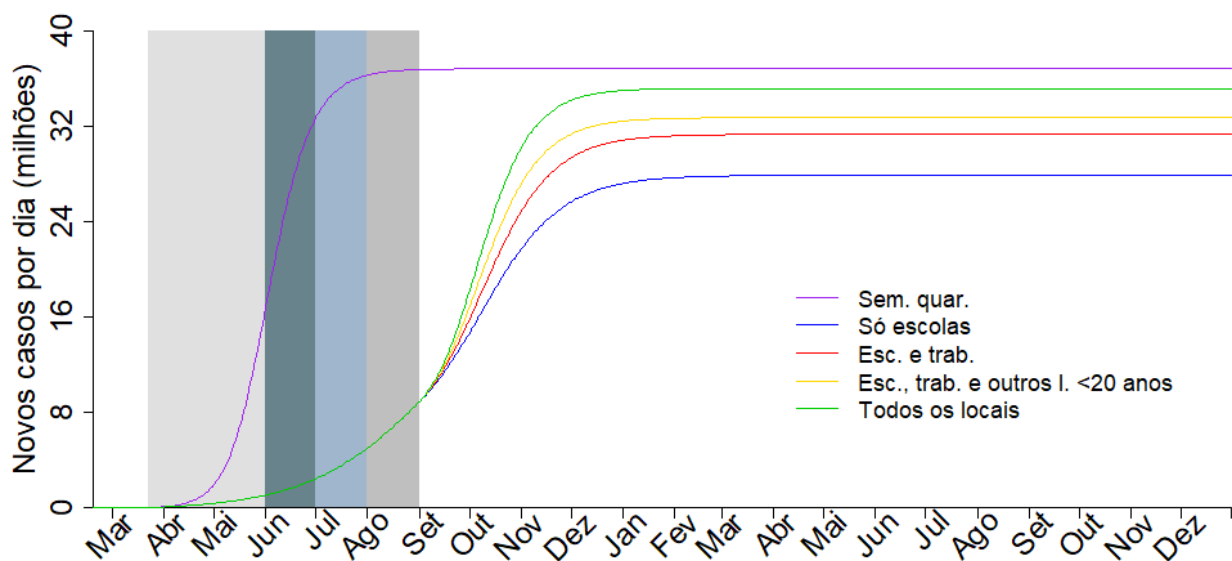


Figure 10: Incidência Diária Acumulada por Situação

Mês	Óbitos						Acumulado					
	Sem quar.	Escolas	Esc. e trab.	Esc., trab. e Out. (<20 anos)	Todos os Locais	Ób. Conf.	Sem quar.	Escolas	Esc. e trab.	Esc., trab. e Out. (<20 anos)	Todos os Locais	Ób. Conf.
2	11	11	11	11	11	0	11	11	11	11	11	0
3	288	275	275	275	275	136	299	286	286	286	286	136
4	4.492	1.184	1.184	1.184	1.184	2.239	4.792	1.470	1.470	1.470	1.470	2.375
5	47.646	2.770	2.770	2.770	2.770	-	52.437	4.240	4.240	4.240	4.240	-
6	83.881	4.540	4.540	4.540	4.195	-	136.318	8.781	8.781	8.781	8.435	-
7	29.012	5.337	5.337	5.337	4.387	-	165.330	14.117	14.117	14.117	12.822	-
8	4.468	8.480	10.050	11.411	11.681	-	169.798	22.597	24.167	25.528	24.503	-
9	553	25.349	35.190	46.894	58.487	-	170.351	47.947	59.357	72.423	82.990	-
10	71	40.627	50.914	52.926	63.346	-	170.422	88.574	110.272	125.349	146.337	-
11	8	24.892	24.003	17.685	17.013	-	170.430	113.466	134.275	143.034	163.350	-
12	1	9.492	6.876	3.946	2.949	-	170.431	122.958	141.151	146.980	166.299	-
Total	170.431	122.958	141.151	146.980	166.299	2.375						

Nota - A mortalidade por COVID-19 foi calculado com base nas razões infectados fatalidade estimadas por Verity et al. (2020) e no número simulado de infectados.

Table 9: Mortalidade por COVID-19 por Mês e Locais Liberados

Na Figura 13, com os números acumulados de óbitos diários, fica claro que as restrições que parecem fazer mais diferença são a liberação do trabalho e da circulação de adultos com 20 anos ou mais nos demais locais.

Analizamos separadamente as diferenças entre as situações por faixas de idade na Figura 14. Entre os jovens com menos de 20 anos, no painel a), como para os casos novos na Figura 11, a

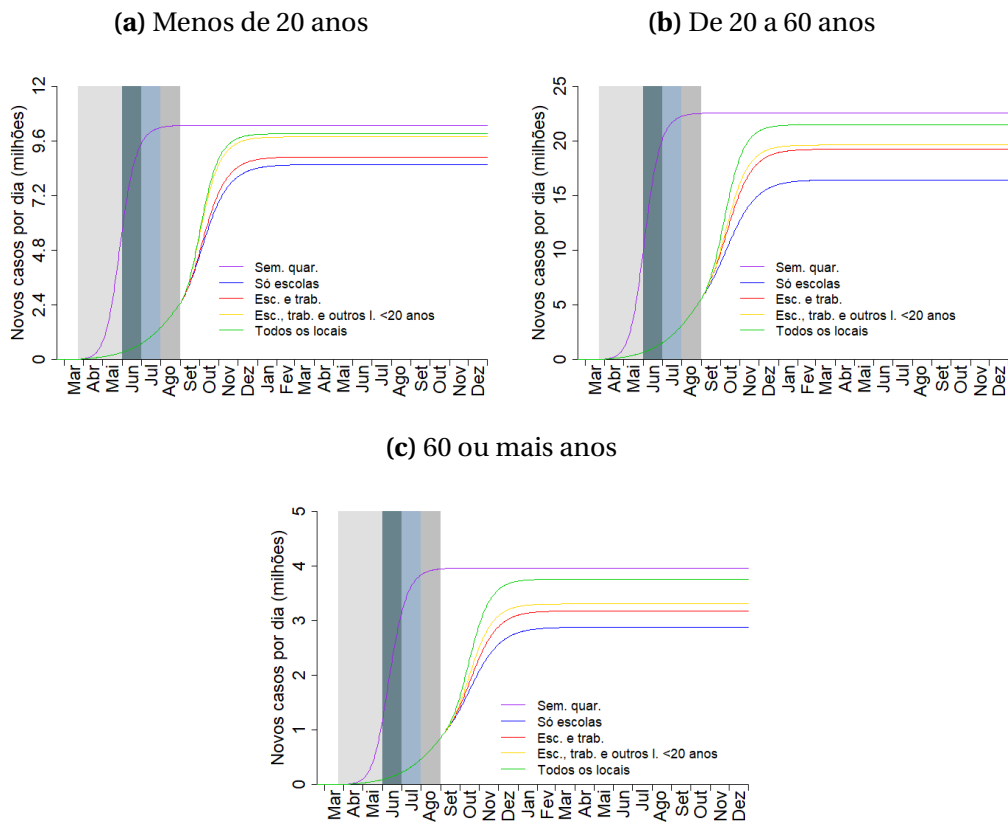


Figure 11: Incidência Diária Acumulada por Situação e Faixa de Idade

maior diferença ocorre da situação 3 para a situação 4. No painel b), entre os adultos com entre 20 e 60 anos, os maiores saltos no final do período são entre as situações 2 e 3 e entre as situações 4 e 5. No painel c), o maior salto no final do período ocorre entre as situações 4 e 5.

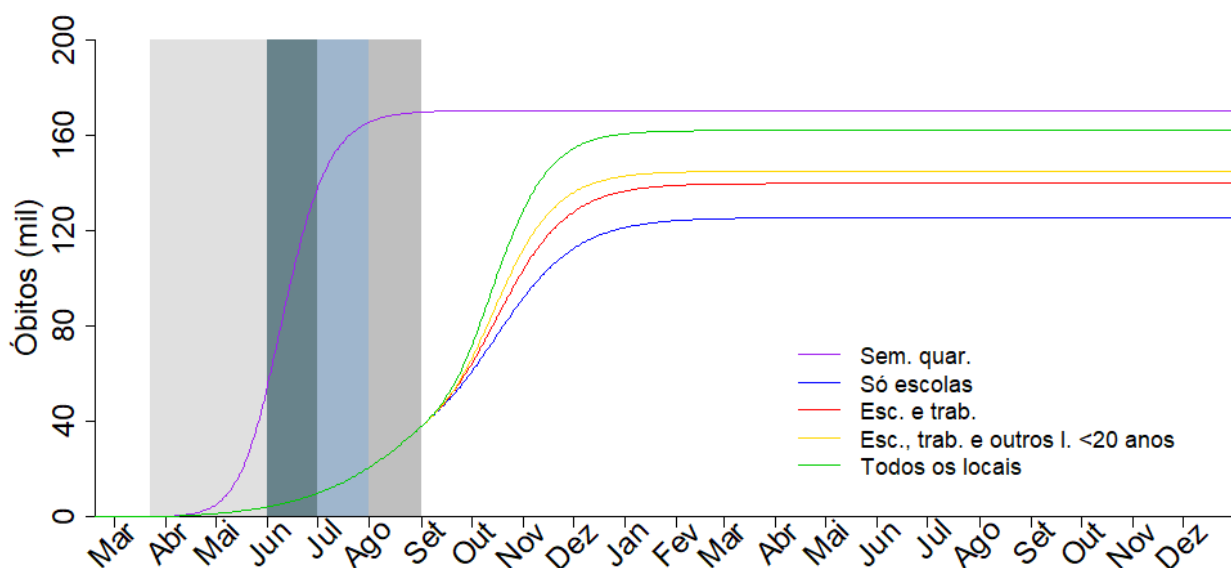


Figure 13: Mortalidade Diária Acumulada por Situação

A Tabela 10 mostra os óbitos quando levamos em conta o número de leitos de UTI do SUS. Nesse caso, os óbitos aumentam mais quando passamos da situação 2 para a 3, com um aumento de 49 mil óbitos. A diferença entre as situações 4 e 5 também geram um crescimento expressivo de óbitos, cerca de 41 mil, e entre as situações 3 e 4, há uma diferença de 21 mil óbitos.

Mês	Óbitos						Acumulado					
	Sem quar.	Escolas	Esc. e trab.	Esc., trab. e Out. (<20 anos)	Todos os Locais	Ób. Conf.	Sem quar.	Escolas	Esc. e trab.	Esc., trab. e Out. (<20 anos)	Todos os Locais	Ób. Conf.
2	11	11	11	11	11	0	11	11	11	11	11	0
3	288	275	275	275	275	136	299	286	286	286	286	136
4	4.492	1.184	1.184	1.184	1.184	2.239	4.792	1.470	1.470	1.470	1.470	2.375
5	67.640	2.770	2.770	2.770	2.770	-	72.431	4.240	4.240	4.240	4.240	-
6	140.255	4.540	4.540	4.540	4.195	-	212.686	8.781	8.781	8.781	8.435	-
7	35.067	5.337	5.337	5.337	4.387	-	247.754	14.117	14.117	14.117	12.822	-
8	4.468	8.480	10.050	11.411	11.681	-	252.221	22.597	24.167	25.528	24.503	-
9	553	25.349	38.151	64.857	88.529	-	252.775	47.947	62.319	90.385	113.033	-
10	71	40.627	79.000	81.155	100.766	-	252.846	88.574	141.318	171.540	213.798	-
11	8	24.892	24.003	17.685	17.013	-	252.854	113.466	165.322	189.225	230.811	-
12	1	9.492	6.876	3.946	2.949	-	252.855	122.958	172.198	193.171	233.760	-
Total	252.855	122.958	172.198	193.171	233.760	2.375						

Nota - Nessas simulações, consideramos o acúmulo de pacientes em UTIs nos 6 dias anteriores e comparamos com as vagas em UTIs do SUS. Os novos casos que precisam de UTI e conseguem entrar em vagas de UTI vão ter óbitos a uma taxa igual àqueles que não precisam ser internados. Os novos casos que precisam de UTIs, mas não conseguem entrar, vão ter 100% de óbitos. Os cálculos são feitos com dados diários e somados por mês.

Table 10: Mortalidade por COVID-19 por Mês e Locais Liberados, Levando em Conta Escassez de UTI

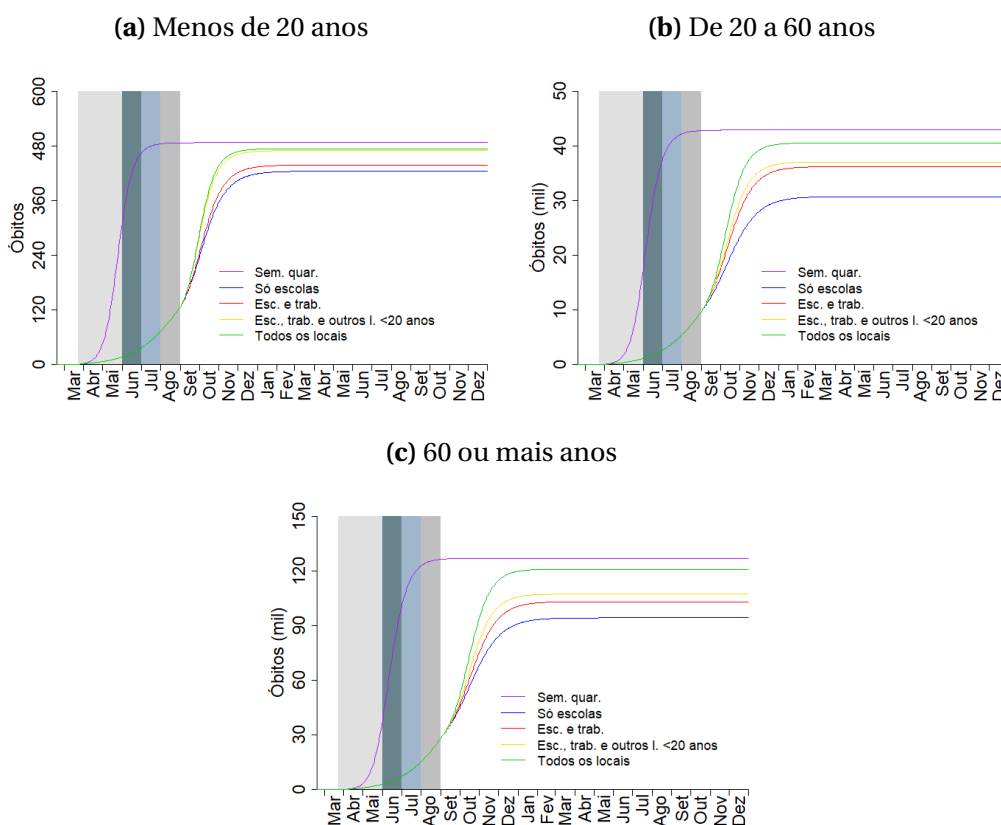


Figure 14: Mortalidade Diária Acumulada por Situação e Faixa de Idade

4 Conclusões

Na classe de modelos utilizada nesse artigo grande parte da população será infectada em qualquer um dos cenários até que se atinja a imunidade de rebanho, de forma que o principal efeito do distanciamento é adiar o mês em que isso ocorrerá. Mas, o número total de infectados será sempre menor no cenário com distanciamento prolongado, pois ele evita que o número de infectados continue a aumentar depois de atingida a imunidade de rebanho. Assim, as vantagens de mantermos o distanciamento são: permitir que haja vagas em hospitais para atender aqueles que precisam (“achatamento”), diminuir o total de mortos e ganhar tempo até o surgimento de uma vacina. Mas, os custos econômicos também são muito elevados.

O que fazer diante desses cenários? Por maiores que sejam os custos econômicos e sociais do distanciamento, uma saída precoce do distanciamento implicaria em condenar à morte uma parcela substancial de paulistas, especialmente os idosos. Uma alternativa menos custosa seria testar grande parte da população e manter somente os infectados em isolamento. Enquanto isso não ocorre, a política mais sensata parece ser entrar em lockdown a partir de junho. Os custos

sociais poderão ser atenuados através da manutenção do programa de renda básica emergencial até o fim do lockdown, para evitarmos uma tragédia social.

Entretanto, o modelo sugere que toda vez que o lockdown for relaxado o número de infectados voltará a aumentar rapidamente. Será necessário então fazer lockdowns temporários, para que possamos ir atendendo os doentes graves nas UTIs existentes, até descobrirmos uma vacina ou conseguirmos testar a população paulista em massa.

References

- Kucharski, Adam J et al. (2020). “Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study”. In: *The lancet infectious diseases*.
- Moghadas, Seyed M et al. (2020). “Projecting hospital utilization during the COVID-19 outbreaks in the United States”. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117.16, pp. 9122–9126.
- Mossong, Joël et al. (2008). “Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases”. In: *PLoS medicine* 5.3.
- MRC and University of Sussex (2020). *Short-Term Forecasts of COVID-19 Deaths in Multiple Countries*. URL: <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/>. Acesso em: 30/04/2020.
- Noronha, Kenya et al. (2020). *Pandemia por COVID-19 em Minas Gerais, 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*. Tech. rep. Nota Técnica atualizada em 23 de Abril de 2020. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Prem, Kiesha, Alex R Cook, and Mark Jit (2017). “Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data”. In: *PLoS computational biology* 13.9, e1005697.
- Prem, Kiesha, Yang Liu, et al. (2020). “The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study”. In: *The Lancet Public Health*.
- Verity, Robert et al. (2020). “Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis”. In: *The Lancet Infectious Diseases*.