

1º relatório - 17 março 2020

Estimativa de risco de espalhamento da COVID-19 no Brasil e o impacto no sistema de saúde e população por microrregião

Núcleo de Métodos Analíticos para Vigilância em Saúde Pública (PROCC/Fiocruz e EMAp/FGV) e colaboradores

Resumo

Esse relatório analisa o risco de importação de COVID-19 para as microrregiões brasileiras decorrente da presença de transmissão sustentada nos dois maiores centros urbanos, Rio de Janeiro e São Paulo e os efeitos de possível ocorrência de epidemias nas microrregiões associados a faixas da população com maior risco de morbidade e letalidade, como idosos, e indicadores de capacidade no SUS, como número de leitos.

Esses cenários foram construídos assumindo ausência de distanciamento social e restrição de viagem. Muitos municípios e unidades da federação já acertadamente iniciaram implementação de medidas de isolamento. Tais medidas contribuem para diminuir o risco que foi avaliado neste estudo.

Os principais achados são:

1. Em função da alta conectividade aérea das capitais São Paulo e Rio de Janeiro, identifica-se alto potencial de rápida dispersão de casos originados de ambas, para outras capitais do país. São Paulo apresenta maior potencial de rápida dispersão para os demais estados. Mesmo que já haja ocorrência de epidemias em determinados municípios, esta conectividade demonstra risco de novas importações de casos nestas microrregiões.
2. Os centros urbanos das regiões Sul e Sudeste têm grande probabilidade de acumular casos graves no curto prazo devido ao alto percentual de população de risco e alta conectividade com SP e RJ. Os centros urbanos de Recife e Salvador também se encontram neste quadro.
3. A disponibilidade de leitos de internação, tanto na rede SUS quanto não SUS, apresenta um desafio importante em todos os estados brasileiros.

Introdução

Esse relatório analisa o risco de disseminação de COVID-19 dentro do país a partir de Rio de Janeiro e São Paulo, com maior número de casos no país até a presente data. Importação de casos através da malha aérea internacional devem seguir tendo papel importante no futuro próximo nas regiões alimentadas pelos principais aeroportos internacionais. No entanto, com

as crescentes medidas de restrição de deslocamento nos países mais afetados bem como potencial aumento de controle sanitário em relação aos passageiros de voos internacionais, o número de casos importados internacionalmente tende a diminuir sua relevância frente aos casos decorrentes de transmissão comunitária sustentada na ausência de ações de mitigação efetivas. Em função disso, analisar as rotas potenciais a partir dos dois principais focos atuais de caso, que são também os principais *hubs* de mobilidade no país, torna-se de fundamental relevância para tomada de decisão por parte das autoridades de saúde pública.

Com o objetivo de analisar o impacto potencial nas respectivas populações, apresentamos também mapas de população em risco (maiores de 60 anos e maiores de 80 anos) e potencial para atendimento de casos graves com base na oferta de leitos hospitalares (leitos de internação e complementares, estratificados por SUS e não SUS).

Situação atual. Até o dia 15 de março, foram notificados 1913 (51,15 %) casos suspeitos, 200 (5,56%) casos confirmados e 1486 (41,29 %) descartados e 0 óbitos (1). Todos os estados brasileiros investigam casos suspeitos da doença, 11 estados e o Distrito Federal têm casos confirmados e 3 estados, São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia têm casos confirmados com transmissão local (1). Retrospectivamente, o primeiro caso importado da COVID-19 foi confirmado no Brasil em 26 de fevereiro de 2020, na cidade de São Paulo (2), após 2 meses do alerta emitido pela China.

Cenários analisados. Analisou-se cenário sem restrição de movimento, utilizando dados da malha aérea nacional de 2019 (3) agregados por microrregiões e restrito àquelas que possuem os aeroportos mapeados e dados de comutação entre municípios para trabalho e estudo do censo 2010 (4).

Resultados

Potencial de espalhamento no país. O potencial de exportação de São Paulo é muito maior do que do Rio de Janeiro, *em situações normais de fluxo aéreo (Figura 1)*. São Paulo apresenta uma conectividade muito homogênea com todo o território brasileiro, o que indica uma capacidade de exportar de forma simultânea o vírus para as principais capitais e centros urbanos de todas as regiões do país. Já o Rio de Janeiro tem um conjunto menor de destinos próximos indicando que poderia haver um espaçamento temporal maior considerando a exportação a partir desta cidade. Ou seja, apesar de São Paulo e Rio de Janeiro serem os dois principais *hubs* do país, apresentam cenários distintos em termos de velocidade de dispersão territorial interestadual (para grandes distâncias mediadas pela malha aérea) caso venham a entrar em situação de surto epidêmico. Essas localidades já apresentaram os primeiros casos de transmissão comunitária.

Combinando os dados de fluxo aéreo com deslocamentos pendulares para trabalho e estudo, e com estimativas recentes de parâmetros da doença, vemos que num cenário de transmissão sustentada em São Paulo e Rio de Janeiro a probabilidade de gerar epidemias nas microrregiões de menor distância efetiva é bastante elevada (**Figura 2**). Essa probabilidade também é elevada para as microrregiões próximas às de São Paulo e Rio de Janeiro, em função da mobilidade pendular.

Potencial de impacto a curto prazo. Os *centros urbanos das regiões Sul e Sudeste* apresentam alto percentual de população acima de 60 e acima de 80 anos de idade (**Figura 3**), que constituem as principais populações de risco, e baixa distância efetiva de São Paulo e Rio de Janeiro. Portanto, são as regiões mais propensas a acumular casos graves no curto prazo. Essas são regiões que historicamente apresentam maior carga de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG). As microrregiões do entorno de *Recife e Salvador* também se encontram neste cenário de risco iminente em função da combinação entre distância efetiva e proporção da população de risco.

Saturação do sistema de saúde. Microrregiões com menor número de leitos e menor distância efetiva encontram-se em maior risco no curto prazo de saturação da assistência. Observa-se uma leve tendência de maior número de leitos complementares (UTI e unidade intermediária) em microrregiões próximas de São Paulo e Rio de Janeiro (**Figura 4**), o que sugere uma melhor cobertura nos grandes centros urbanos da região Sudeste e Sul. Ainda assim, a maioria das microrregiões apresenta menos de 4 leitos complementares por 10 mil habitantes, um quantitativo baixo, além de uma grande heterogeneidade na oferta de leitos por habitante em todo o território nacional. Frente a um possível cenário de grande necessidade desses leitos por conta do acometimento da população de risco, medidas como implantação de novos leitos e remanejamento para UTI devem ser priorizadas, com particular urgência naquelas microrregiões que combinam número relativamente baixo de leitos por habitante e baixa distância efetiva.

Os indicadores aqui apresentados podem ser utilizados como parte dos subsídios para priorização de ações e alocação de recursos.

Métodos

Distância efetiva para importação de casos: foi calculada uma medida associada à probabilidade de importação de caso para microrregiões do Brasil por via aérea com base no cálculo de distância efetiva proposto por Gautreau et al. (5) e Brockmann & Helbing (6), que mede proximidade em termos do fluxo de pessoas entre as localidades ao invés da distância geográfica. Esses dois trabalhos mostram que há forte correlação entre essa medida e o tempo até importação em cada território a partir de uma origem bem definida, de tal forma que o ranking das duas medidas é preservado com significância estatística. Isto é, quanto menor a

distância efetiva, menor o tempo até invasão. Em alguns gráficos apresentamos uma medida de distância efetiva relativa, na qual as distâncias são normalizadas pelo destino mais próximo, para facilitar análises comparativas. A malha aérea foi construída com dados da OAG referentes ao ano de 2019, agregados por ano e restritos aos fluxos nacionais (3). Para fins de fluxo aéreo de/para São Paulo, o aeroporto de Campinas (Viracopos) foi considerado como pertencente à mesma área de abrangência territorial, de modo que os fluxos se somam. Foram utilizadas como áreas de influência imediata as microrregiões correspondentes ao município de referência de cada aeroporto.

Probabilidade de epidemia: para calcular a probabilidade de epidemia em cada microrregião m , computamos a expressão: $p_{epi} = 1 - (1/R_0)^{I_m}$ onde I_m = número de viajantes infectados chegando em m no dia t e R_0 é o número de reprodução básico (7). Utilizamos o valor $R_0 = 2.5$, valor nas faixas estimadas em estudos da emergência da epidemia em Wuhan (8,9), mantido constante para todas as microrregiões. Há muita incerteza na estimativa do número I de viajantes. Para os mapas aqui gerados, assumimos o cenário de uma semana com 100 casos notificados no Rio de Janeiro e em São Paulo cada, multiplicado por um fator de expansão de 10 para levar em consideração casos assintomáticos e subnotificados e uma duração de infecção de 8 dias, resultando em um número efetivo (prevalência) aproximado de casos de 8000 em cada uma das duas cidades de origem. Após esta correção, I_m é o número de passageiros totais chegando do Rio de Janeiro e de São Paulo, multiplicado pela proporção de prevalência em cada cidade. Os dados relativos à mobilidade humana foram os mesmos utilizados para cálculo de distância efetiva, somados à mobilidade pendular para trabalho e estudo extraídos do Censo de 2010 (4). Deve-se notar que esse é um cenário *baseline*, pois não leva em consideração as intervenções em curso, nem efeitos demográficos e ambientais que possam afetar o valor de R_0 .

Percentual de população acima de 60 anos, 80 anos, e menor que 18 anos:

A partir dos dados do IBGE (10), foram projetadas as populações de cada microrregião para o ano de 2020, agregados por faixa etária. Reportamos a fração de indivíduos em duas faixas elevadas como indicador de impacto, acima de 60 anos e acima de 80 anos, em função da letalidade ser maior para ambas (11). A fração de indivíduos com idade abaixo de 18 anos também foi utilizada, uma vez que permite acessar o impacto social, tanto em termos de impacto negativo por alteração da rotina familiar, quanto positivo em termos de distanciamento social.

Quanto menor for a distância efetiva e maior o percentual de população idosa, maior o risco no curto prazo em função do elevado risco populacional aliado ao menor tempo para ação. Quanto maior a distância efetiva e quanto menor o percentual, menor o risco no curto prazo em função do baixo risco populacional aliado ao maior tempo para ação.

Leitos hospitalares para internação por 10.000 habitantes:

Dada a necessidade de leitos para atendimento dos casos graves, coletamos os dados oficiais disponibilizados na plataforma Tabnet/Datasus referente à quantidade de leitos de internação e leitos complementares (UTI e unidade intermediária) disponíveis para cada microrregião (12), bem como suas estratificações em leitos SUS e não SUS. Essas medidas indicam a capacidade de cada região em atender eventuais casos, assim como avaliar vulnerabilidade em caso de crescimento significativo do número de casos graves ativos.

As análises foram agregadas na unidade administrativa de microrregião do IBGE (10). O shapefile do Brasil por microrregião também foi obtido do IBGE (10). Para a confecção dos mapas e dos gráficos, os softwares Python (13), R (14), Inkscape (15) e QGis (16) foram utilizados. Códigos para cálculos e processamento de dados foram feitos com os softwares R (14) e Python (13).

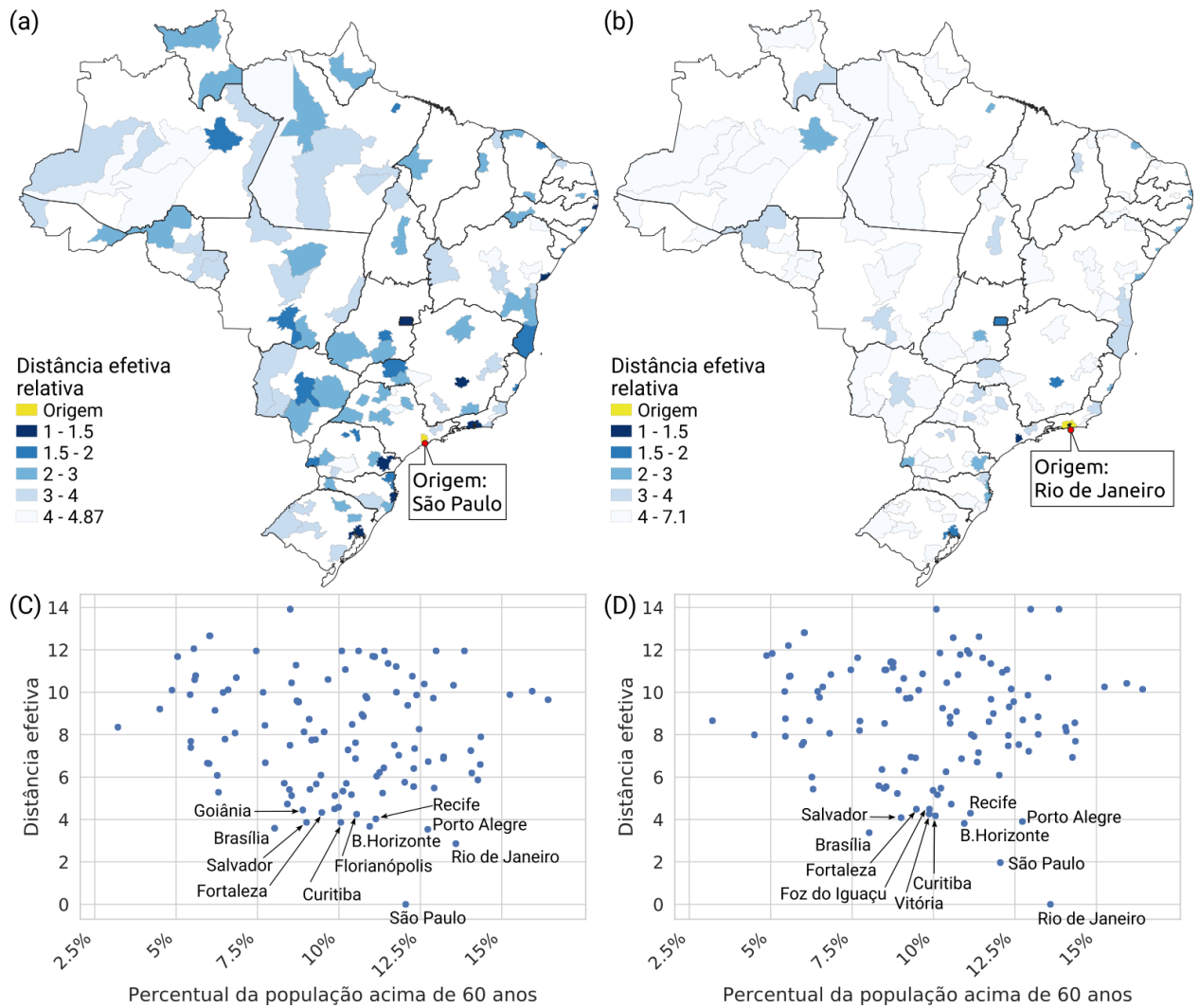


Figura 1: Distância efetiva relativa para importação de casos por microrregiões do Brasil por vias aéreas nacionais com base nos cenários de origem em São Paulo (a,c) e no Rio de Janeiro (b,d). Quanto menor a distância efetiva em relação à São Paulo e Rio de Janeiro, menor o tempo até a chegada do novo vírus. Os painéis inferiores apresentam a distância efetiva em função do percentual da população acima de 60 anos em cada microrregião. Fontes: dados populacionais obtidos a partir do IBGE (10) e da malha aérea a partir da OAG (3).

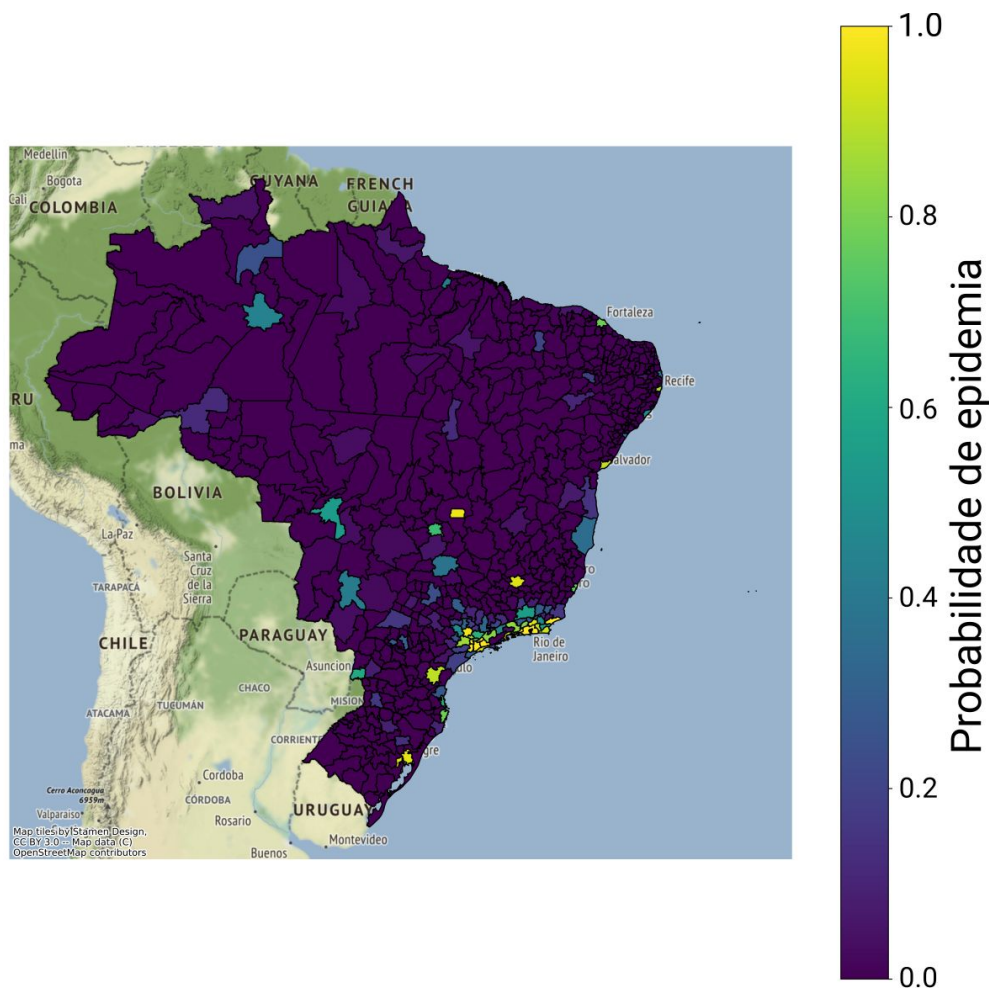


Figura 2. Probabilidade de ocorrência de epidemia em microrregiões do país, desencadeada por aumento do número de casos em São Paulo e Rio de Janeiro, a partir de importação de casos nestas microrregiões, assumindo-se ausência de restrições de mobilidade.

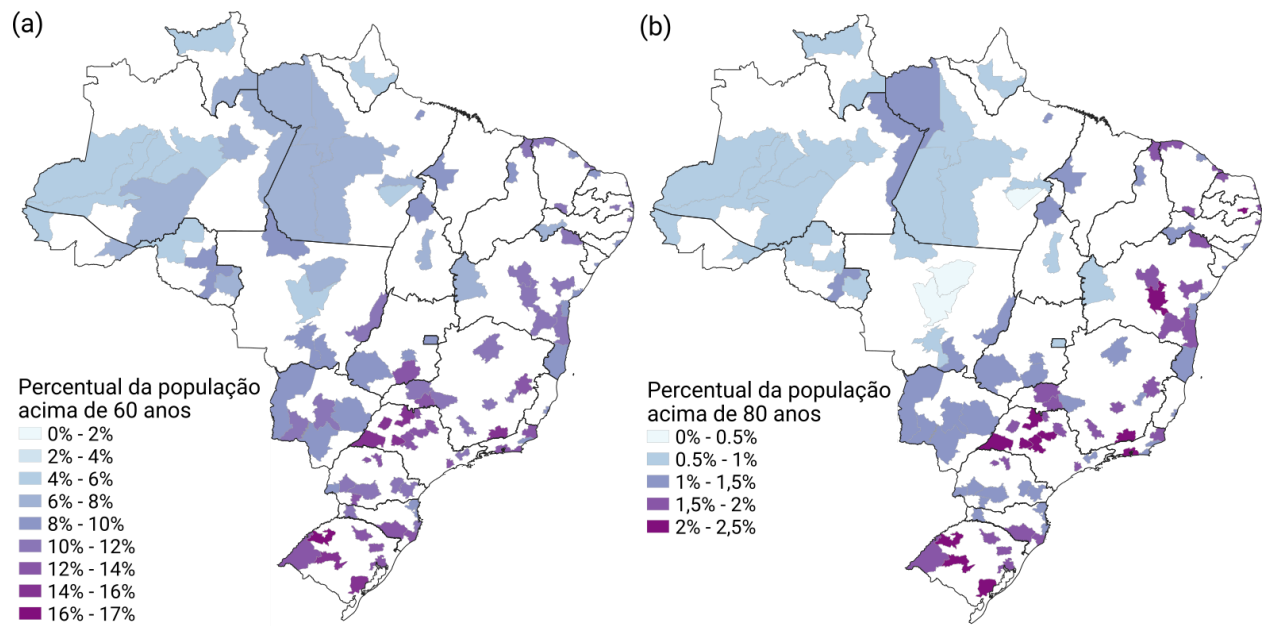


Figura 3: Percentual de população idosa por microrregião do Brasil, com base em projeção para 2020. (a) População acima de 60 anos. (b) População acima de 80 anos. Fonte: IBGE (10).

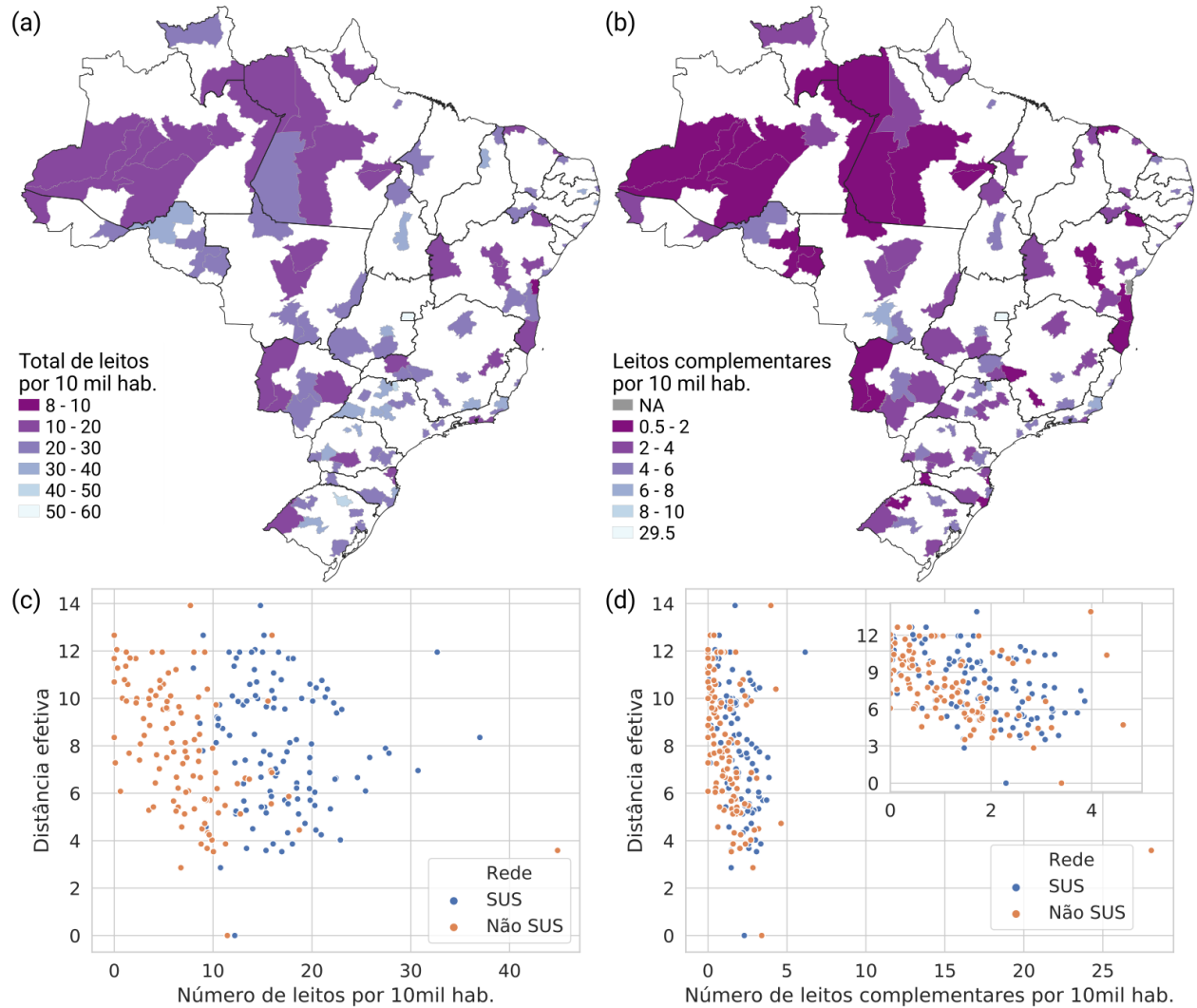


Figura 4: Distribuição de leitos hospitalares para internação por 10 mil habitantes por microrregião do Brasil para janeiro de 2020. (a) Total de leitos de internação e (b) Leitos complementares (UTI e unidade intermediária). Distância efetiva a partir de SP por número de leitos e rede (c), e por número de leitos complementares e rede (d). Fontes: Dados de leitos foram obtidos do Tabnet/DataSUS (8) e dados da malha aérea da OAG (3).

Limitações

- Fatores de sazonalidade da malha aérea, bem como diminuição no fluxo aéreo em decorrência da atual emergência sanitária podem gerar alterações que levem ao aumento da distância efetiva, porém não devem impactar significativamente o ranking apresentado.
- Projeções de população por faixa etária valem-se das taxas de crescimento e morte entre os censos de 2000 e 2010 para cálculo de crescimento populacional por faixa etária entre 2010-2020. Tais medidas podem sofrer com mudanças nesses parâmetros no período analisado.

Núcleo de Métodos Analíticos para Vigilância em Saúde Pública (PROCC/Fiocruz e EMAP/FGV): Cláudia T Codeço¹, Daniel Villela¹, Flávio Coelho², Leonardo S Bastos^{1,3}, Marcelo F C Gomes^{1*}, Oswaldo G Cruz¹, Raquel M Lana¹

¹ Fiocruz, Programa de Computação Científica, Rio de Janeiro, Brasil

² Escola de Matemática Aplicada, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, Brasil

³ London School of Hygiene and Tropical Medicine, Londres, Reino Unido

*contato: marcelo.gomes@fiocruz.br

Colaboradores externos:

Ana Pastore y Piontti⁴, Alessandro Vespignani⁴, Jessica T Davis⁴

⁴ Laboratory for the Modeling of Biological and Socio-technical Systems, Northeastern University, Boston, EUA.

Referências

<http://qgis.osgeo.org>

1. Notificação de casos pelo novo coronavírus (COVID-19) - Plataforma Integrada de Vigilância em Saúde - Ministério da Saúde [Internet]. [citado 16 de março de 2020]. Disponível em: <http://plataforma.saude.gov.br/novocoronavirus/>
2. Ministério da Saúde. Linha do tempo coronavírus [Internet]. [citado 16 de março de 2020]. Disponível em: <http://coronavirus.saude.gov.br/linha-do-tempo>
3. Official Airline Guide. OAG [Internet]. Disponível em: <http://www.oag.com>
4. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010: Resultados gerais da amostra [Internet]. 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_gerais_amostra/resultados_gerais_amostra_tab_uf_microdados.shtm
5. Gautreau A, Barrat A, Barthélemy M. Global disease spread: Statistics and estimation of arrival times. J Theor Biol. 7 de abril de 2008;251(3):509–22.
6. Brockmann D, Helbing D. The Hidden Geometry of Complex, Network-Driven Contagion

Phenomena. Science. 13 de dezembro de 2013;342(6164):1337–42.

7. L. J. Allen, F. Brauer, P. Van den Driessche, J. Wu. Mathematical epidemiology. Vol. 1945. Berlin: Springer; 2008.
8. Wu JT, Leung K, Leung GM. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. The Lancet. 2020;
9. Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia. N Engl J Med. 2020;NEJMoa2001316.
10. IBGE | Portal do IBGE | IBGE [Internet]. [citado 21 de novembro de 2019]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>
11. The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in China. Chin J Epidemiol. 17 de fevereiro de 2020;41(02):145–51.
12. Ministério da Saúde. DATASUS - Informações de Saúde - Rede Assistencial [Internet]. 2020 [citado 15 de março de 2020]. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0204&id=11663>
13. Van Rossum G, Drake FL. Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace; 2009.
14. R Core Team [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
15. Inkscape [Internet]. Disponível em: <http://www.inkscape.org/>
16. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. [Internet]. Open Source Geospatial Foundation Project; Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>

ANEXO I - Lista dos 40 destinos com menor distância efetiva a partir de São Paulo com base na malha aérea nacional

Microrregião	UF	Distância efetiva	População acima de 60 anos (%)	Leitos por 10mil hab.
São Paulo	SP	0,00	12	23,64
Rio de Janeiro	RJ	2,86	14	17,49
Porto Alegre	RS	3,54	13	26,99
Brasília	DF	3,59	8	60,21
B Horizonte	MG	3,68	11	22,78
Salvador	BA	3,86	9	26,81
Curitiba	PR	3,87	10	27,34
Recife	PE	4,03	11	32,76
Florianópolis	SC	4,25	11	30,55
Fortaleza	CE	4,33	9	27,03
Goiânia	GO	4,45	9	39,13
Vitória	ES	4,50	10	22,89
Itajaí	SC	4,58	10	16,12
Cuiabá	MT	4,73	8	28,46
Maceió	AL	5,13	9	25,77
Foz do Iguaçu	PR	5,13	10	25,06
Campo Grande	MS	5,17	10	25,91
Uberlândia	MG	5,25	11	18,57
Manaus	AM	5,28	6	16,85
Natal	RN	5,34	10	29,98
Belém	PA	5,41	8	21,69
Porto Seguro	BA	5,42	9	18,84
Londrina	PR	5,48	13	31,51
Maringá	PR	5,55	12	33,47
Joinville	SC	5,67	9	19,12
João Pessoa	PB	5,71	10	29,52
Aracaju	SE	5,71	8	26,55
Ribeirão Preto	SP	5,76	12	27,71
S.José R.Preto	SP	5,87	14	33,57
Cariri	CE	6,04	11	27,54

Microrregião	UF	Distância efetiva	População acima de 60 anos (%)	Leitos por 10mil hab.
Sudeste RR	RR	6,08	6	16,40
Teresina	PI	6,09	9	32,93
Pres.Prudente	SP	6,20	14	30,15
Chapecó	SC	6,22	11	24,91
Caxias do Sul	RS	6,41	12	25,53
Ilhéus-Itabuna	BA	6,43	11	22,63
Juiz de Fora	MG	6,59	14	36,00
Porto Nacional	TO	6,63	6	35,72
Porto Velho	RO	6,66	6	33,32
Petrolina	PE	6,68	8	21,14
Tubarão	SC	6,73	13	24,31

ANEXO II - Lista dos 40 destinos com menor distância efetiva a partir do Rio de Janeiro com base na malha aérea nacional

Microrregião	UF	Distância efetiva	População acima de 60 anos (%)	Leitos por 10mil hab.
Rio de Janeiro	RJ	0	14	17,49
São Paulo	SP	1,97	12	23,64
Brasília	DF	3,38	8	60,21
B Horizonte	MG	3,82	11	22,78
Porto Alegre	RS	3,9	13	26,99
Salvador	BA	4,08	9	26,81
Curitiba	PR	4,17	10	27,34
Vitória	ES	4,26	10	22,89
Recife	PE	4,3	11	32,76
Fortaleza	CE	4,49	9	27,03
Foz do Iguaçu	PR	4,49	10	25,06
Florianópolis	SC	4,72	11	30,55
Natal	RN	5,17	10	29,98
Goiânia	GO	5,23	9	39,13
Itajaí	SC	5,37	10	16,12
Manaus	AM	5,43	6	16,85
Belém	PA	5,47	8	21,69
João Pessoa	PB	5,48	10	29,52
Maceió	AL	5,54	9	25,77
Aracaju	SE	5,59	8	26,55
Sudeste RR	RR	6	6	16,4
Ribeirão Preto	SP	6,09	12	27,71
Campo Grande	MS	6,25	10	25,91
Porto Seguro	BA	6,29	9	18,84
Cuiabá	MT	6,36	8	28,46
Uberlândia	MG	6,71	11	18,57
S.José Campos	SP	6,87	11	20,96
Teresina	PI	6,91	9	32,93
S.José R.Preto	SP	6,93	14	33,57
Joinville	SC	6,95	9	19,12
Ilhéus-Itabuna	BA	7,16	11	22,63
Londrina	PR	7,22	13	31,51
Maringá	PR	7,47	12	33,47

Microrregião	UF	Distância efetiva	População acima de 60 anos (%)	Leitos por 10mil hab.
Porto Velho	RO	7,52	6	33,32
Campos Goytac.	RJ	7,53	13	30,99
Porto Nacional	TO	7,64	6	35,72
Marília	SP	7,69	14	37,4
Macapá	AP	7,92	5	15,81
Chapecó	SC	7,92	11	24,91
Caxias do Sul	RS	7,97	12	25,53
Parauapebas	PA	7,99	4	18,81

ANEXO III - Lista das 40 microrregiões com maior probabilidade de epidemia no curto prazo

Microrregião	Probabilidade
Rio De Janeiro	1.00
São Paulo	1.00
Osasco	1.00
Guarulhos	1.00
Itapecerica Da Serra	1.00
Itaguaí	1.00
Mogi Das Cruzes	1.00
Macaé	0.99
Campinas	0.98
Brasília	0.97
Santos	0.97
Porto Alegre	0.96
Serrana	0.95
Belo Horizonte	0.95
Baía Da Ilha Grande	0.93
Lagos	0.92
Salvador	0.91
Curitiba	0.90
Macacu-caceribu	0.90
Recife	0.86
Jundiaí	0.86
Sorocaba	0.86
Vale Do Paraíba Fluminense	0.84
São José Dos Campos	0.83
Vassouras	0.81
Franco Da Rocha	0.78
Fortaleza	0.78
Florianópolis	0.78
Vitória	0.77
Goiânia	0.69
Itajaí	0.64
Bragança Paulista	0.64

Microrregião	Probabilidade
Foz Do Iguaçu	0.60
Bacia De São João	0.56
Juiz De Fora	0.55
Cuiabá	0.55
Piracicaba	0.48
Nova Friburgo	0.47
Maceió	0.47
Natal	0.46