

NOTA TÉCNICA

**SITUAÇÃO DA PANDEMIA DE
COVID-19 NO BRASIL**

Produzido em 01/07/2020

EQUIPE

- Dr. Américo T. Bernardes – Departamento de Física/UFOP
- Dra. Ana Cláudia Fiorini – Departamento de Fonoaudiologia, Escola Paulista de Medicina/UNIFESP e Programa de Estudos Pós Graduado em Fonoaudiologia, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP)
- Dr. Antônio Carlos Guimarães de Almeida – Laboratório de Neurociência Experimental e Computacional, Departamento de Engenharia de Biosistemas/UFSJ
- Me. Antônio José Assunção Cordeiro – IFBA e Unopar Candeias.
- Dr. Fulvio Alexandre Scorza, Departamento de Neurologia e Neurocirurgia, Escola Paulista de Medicina/UNIFESP
- Dr. Marcelo A. Moret – SENAI CIMATEC e UNEB
- Dr. Tarcísio M. Rocha Filho – Núcleo de Altos Estudos Estratégicos para o Desenvolvimento-CIFMC e Instituto de Física/UnB
- Dr. Walter Massa Remalho – FCE e Núcleo de Medicina Tropical/UnB

1 INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma doença grave causada pelo vírus SARS-CoV-2, da classe dos coronavírus, que teve o primeiro caso reportado em dezembro de 2019 e se alastrou pelo mundo. Hoje presente em quase 200 países de todas as regiões, conta com um registro de mais de 8 milhões de casos e mais de 400 mil mortes. O primeiro caso registrado no Brasil ocorreu na cidade de São Paulo em 26 de fevereiro deste ano, tendo se alastrado desde então para todos os estados brasileiros. Depois da Itália, Reino Unido, Espanha e Estados Unidos, a partir de junho o Brasil se posicionou como o novo epicentro da pandemia, contabilizando até a presente data cerca de 1453.000 casos e 61 mil mortes.

A evolução dos casos não ocorre de forma uniforme entre as regiões, sendo a primeira morte notificada por COVID-19 ocorreu em 17 de março de 2020. Até o dia 06 de junho, os estados do Amazonas, Pará, Maranhão, Ceará, São Paulo, Rio de Janeiro e Pernambuco contabilizavam pouco mais de 30 mil mortes, 82% do total ocorrido no Brasil. Também se observa a interiorização da pandemia, hoje presente em 83% dos municípios brasileiros. A média de casos no Brasil permanece em crescimento.

Até a presente data não existem medicamentos com eficácia comprovada ou vacinas para o tratamento da COVID-19. Todos os trabalhos científicos publicados até hoje apontam no sentido de que uma das medidas mais importantes para deter o avanço da pandemia é o isolamento social. Isso faz com que a transmissibilidade, representada pelo número de reprodução básico (vide mais adiante) R_t diminua com o tempo. Caso o valor de R_t seja menor que 1, implica que a pandemia encontra-se contida, e o número de infectados, e conseqüentemente o de óbitos, diminui com o tempo. Por outro lado, se R_t for maior que 1, significa que a pandemia está em expansão.

Apesar de alertas de diversas autoridades sanitárias e da crescente ocupação de leitos de UTI, vivemos um momento crítico em que medidas de flexibilização do isolamento social começam a ser adotadas pelos governos estaduais e municipais.

A presente Nota tem por objetivo apresentar a situação da pandemia em cada unidade da federação e em suas capitais, com a respectiva estimativa da taxa de transmissão do vírus β em função do tempo, que permite avaliar como variou o grau de isolamento social, e o número de reprodução básico R_t mais recente. Os valores obtidos mostram que, na maior parte dos estados, ainda estamos em fase de expansão da pandemia. Assim, as medidas de flexibilização adotadas poderão ter resultados catastróficos. Para fundamentar tal afirmação, mostramos prognósticos médios obtidos a partir de um modelo matemático.

Para apresentar os cálculos realizados, esta Nota é dividida em cinco seções, distribuídas como segue:

1. Apresentação dos dados atuais de números de infectados e óbitos e os números de novos casos e óbitos nos últimos sete dias para cada estado e respectiva capital. Também apresentamos dados estimados de números de óbitos e infecções a partir do total de óbitos e de casos de mortes em excesso por Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), de forma a, mais uma vez, alertar para a dimensão significativa da subnotificação existente em nosso país. Diversos trabalhos considerando diversas metodologias têm mostrado que o número real de casos é muito maior que os oficialmente informados.
2. Descrição do modelo de simulação com o qual estimamos a transmissibilidade β nos estados e suas capitais.
3. Estimativa do valor mais recente do número de reprodução básico nas diferentes localidades.
4. Apresentação dos resultados dos prognósticos feitos a partir da situação mais recente dos dados oficiais.
5. Análise dos dados aqui apresentados, com algumas considerações e orientações.

2 SITUAÇÃO DA PANDEMIA DE COVID-19 NO BRASIL

Apresentamos nesta seção os dados oficiais fornecidos ao longo do tempo pelas Secretarias Estaduais de Saúde, para cada estado e sua capital, desde o início da pandemia de COVID-19 no Brasil. Apesar de dificuldades decorrentes de mudanças na política de divulgação de dados pelo Governo Federal, que dificultou o acesso aos dados da expansão da pandemia, outras fontes vêm sendo utilizadas para obter dados atualizados, particularmente nos portais criados pelas Secretarias Estaduais de Saúde.

O Brasil continua enfrentando grandes dificuldades para a aplicação dos testes de diagnóstico para a COVID-19, devido à infraestrutura laboratorial insuficiente, à falta de pessoal técnico qualificado, à dificuldade de aquisição de testes decorrente da alta demanda internacional e da baixa disponibilidade de fornecedores, e à dificuldade logística de distribuição nacional dos testes em um país de dimensões continentais como o Brasil. Apesar de um crescimento no número de testes realizados nos últimos dois meses, passando de 296 testes por milhão de habitantes para 7664 testes em meados de junho, o Brasil ainda está muito abaixo dos países com maiores quantidades de infectados, cuja testagem por milhão de habitantes é 10 a 15 vezes maior.

A fim de estimar um número para o total de casos de infecção mais próximo do real, foram utilizados dois procedimentos. O primeiro deles leva em conta uma estimativa de quantidade de infectados a partir da quantidade de óbitos, estimada em 1,38% (Intervalo de confiança de 95%: 1,23% – 1,53%) sobre o total de casos relatados, obtido a partir de dados da pandemia na China [1]. É importante observar que esse percentual é sobre os casos identificados, e caso se considere o total de casos, incluindo os assintomáticos, ele se torna menor. Assim, as estimativas apresentadas a seguir correspondem aos casos mais facilmente identificáveis, excluindo os assintomáticos e casos muito leves. O número médio de dias entre o primeiro sintoma (quando o indivíduo passa a ser considerado infectado) e a morte foi estimado em 18 dias [1]. A estimativa do número total de infectados é feita considerando que o número de óbitos 18 dias atrás está na faixa de 1,23% – 1,53% dos casos.

O segundo procedimento para a estimativa do total de casos baseou-se na observação que o número de internações e óbitos por síndrome respiratória aguda grave – SRAG ao longo do ano de 2020, que aumentou muito se comparado aos números de todos os anos anteriores. Por ser uma síndrome caracterizada por uma redução drástica dos níveis de oxigenação, podendo ser pneumonias ou outras enfermidades causadas por outros vírus (como H1N1), e o próprio SARS-CoV-2, o excesso de mortes por SRAG é mais do que muito provavelmente devido à COVID-19. As notificações de internações e óbitos são obrigatórias para as Secretarias Estaduais de Saúde e são computadas para cada semana epidemiológica¹. Os dados de casos e óbitos por síndrome respiratória aguda grave foram obtidos no site INFOGRIPE da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) no endereço web <http://info.gripe.fiocruz.br/>, que disponibiliza tais dados desde 2009 até o presente. Para cada semana epidemiológica tomamos a diferença entre o total de óbitos por SRAG em 2020 e o maior número de óbitos relatado na respectiva semana epidemiológica entre 2009 e 2019. O valor assim obtido fornece uma estimativa do número real de óbitos por COVID-19 ocorrido na dada semana epidemiológica. Com essa estimativa procede-se como no parágrafo anterior para ter uma estimativa do número de casos. Os dados de SRAG relatam a data da internação de cada paciente, o que é levado em conta para a data da estimativa. Como mostrado mais adiante, o número em excesso por SRAG em 2020 está bem acima das mortes oficialmente relatadas até a mesma data. Diferentes fatores pode explicar isso: atraso na notificação da morte por COVID-19 pela demora nos resultados de testes, demora na testagem após o óbito resultando em falso-negativo, e também a não realização do teste, a morte sendo registrada como devida a SRAG por causa desconhecida. Salientamos que há também uma demora para a consolidação e transmissão das Secretarias Estaduais de Saúde,

¹As semanas epidemiológicas seguem uma definição internacional, sendo contadas de domingo a sábado. A primeira semana epidemiológica do ano é aquela que contem o primeiro de janeiro. Para 2020 a primeira semana epidemiológica foi de 29/12/2019 a 04/01/2020.

entre um a dois meses segundo o estado. Assim foram considerados apenas os dados das semanas já consolidadas no sistema do INFOGRIPE, conforme tabela abaixo.

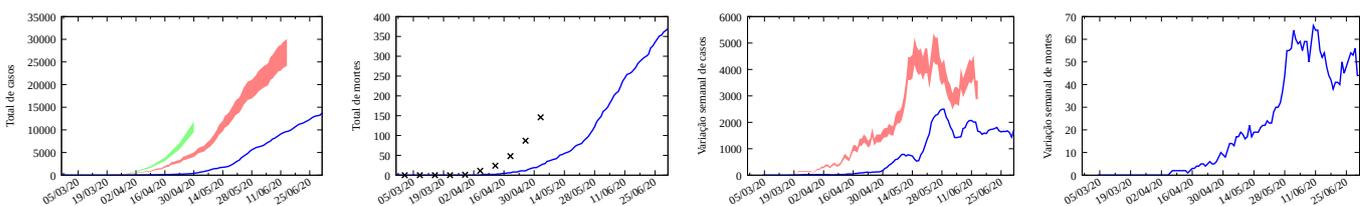
Estado	Semana	Estado	Semana	Estado	Semana
Acre	18	Alagoas	18	Amapá	18
Amazonas	19	Bahia	20	Ceará	19
Distrito Federal	21	Espírito Santo	20	Goiás	20
Maranhão	18	Mato Grosso	22	Mato Grosso do Sul	19
Minas Gerais	20	Pará	18	Paraíba	20
Paraná	22	Pernambuco	19	Piauí	21
Rio de Janeiro	19	Rio Grande do Norte	20	Rio Grande do Sul	22
Rondônia	18	Roraima	21	Santa Catarina	22
São Paulo	21	Sergipe	21	Tocantins	22

Tabela 1: Última semana epidemiológica de 2020 com dados de SRAG atualizados por completo para cada unidade da federação, para um total de 26 semanas epidemiológicas até a presente data.

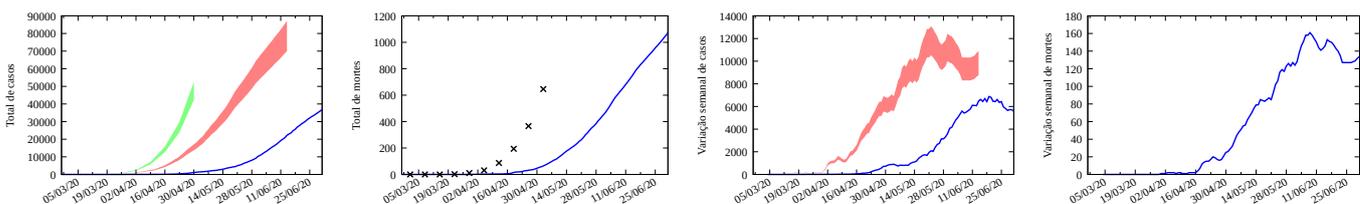
2.1 Estados e Distrito Federal

Nas figuras abaixo temos quatro gráficos para cada estado, na seguinte ordem: número total de casos de COVID-19, número total de óbitos, número de novos casos nos últimos sete dias e número de novos óbitos sobre os últimos sete dias. As curvas azuis apresentam os dados divulgados pelas respectivas secretarias de saúde e estão disponíveis no site <https://github.com/wcota/covid19br>, mantido por Wesley Cota da Universidade Federal de Viçosa. Os dados aqui apresentados foram atualizados em 1/7/2020. As cruces nos gráficos representam as mortes em excesso por SRAG em 2020. As faixas em vermelho e verde correspondem às estimativas obtidas a partir dos casos oficialmente notificados, e às mortes em excesso por SRAG, respectivamente. Os gráficos de novos casos e óbitos seguem as mesmas convenções.

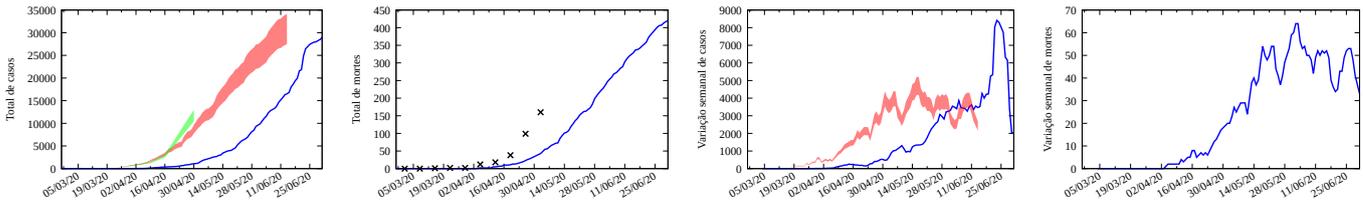
Acre



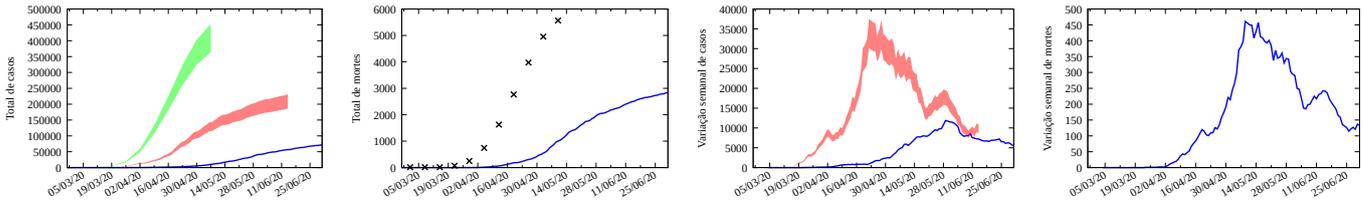
Alagoas



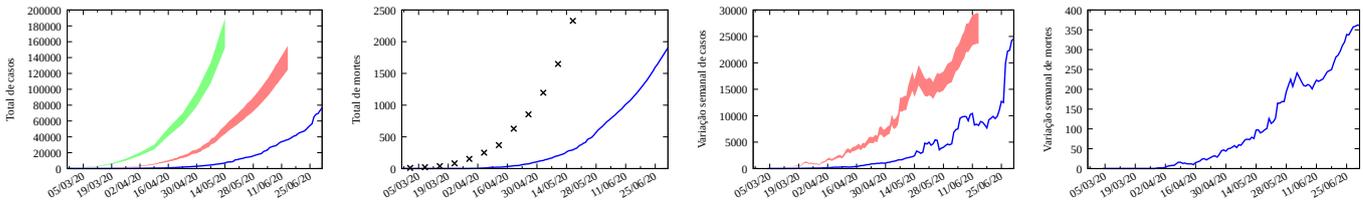
Amapá



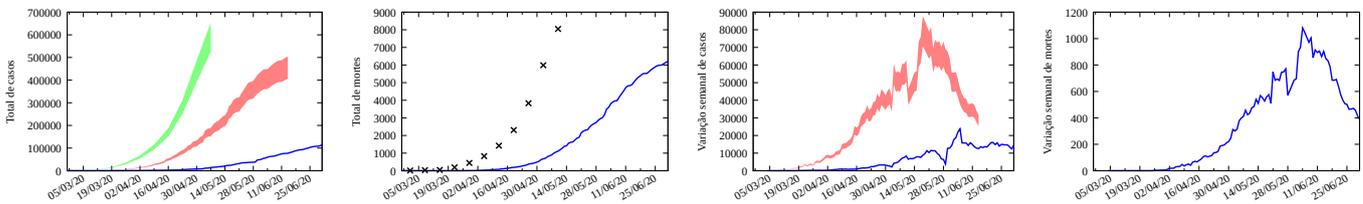
Amazonas



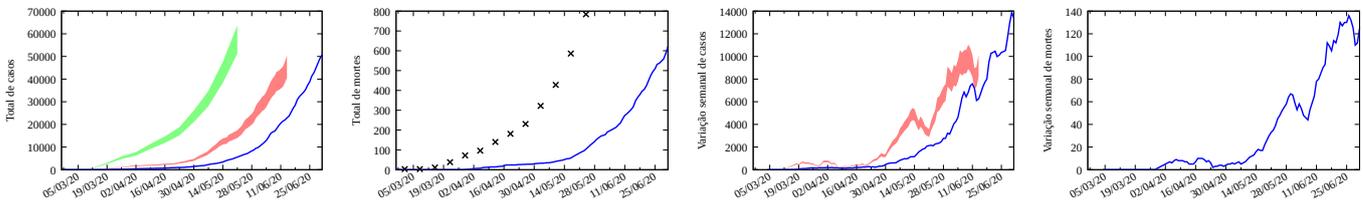
Bahia



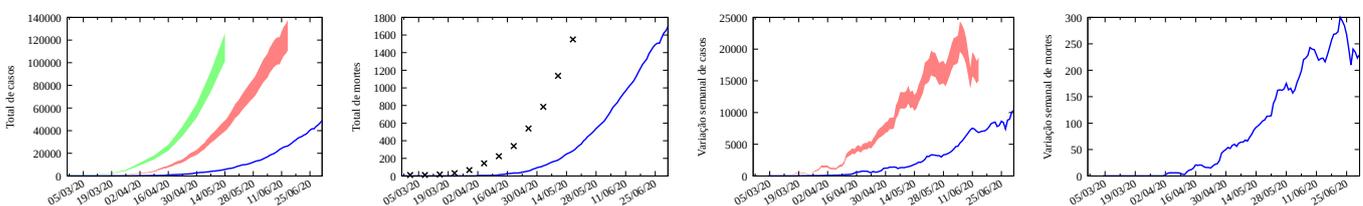
Ceará



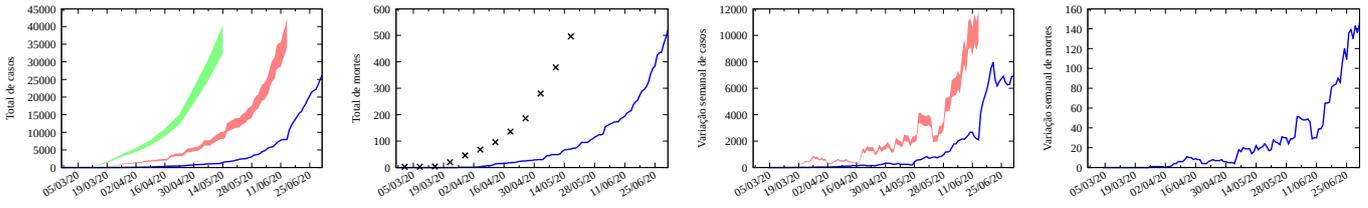
Distrito Federal



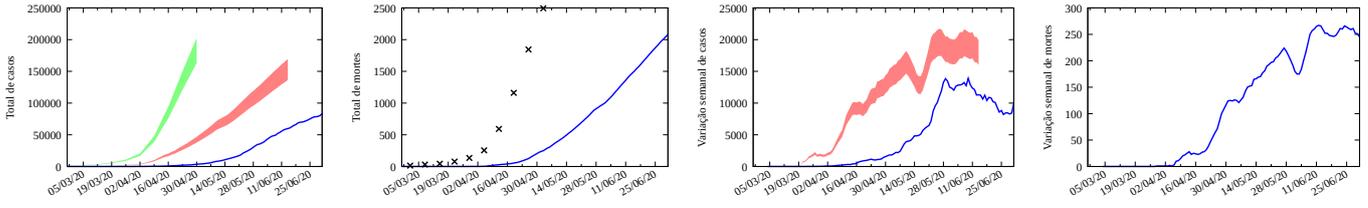
Espírito Santo



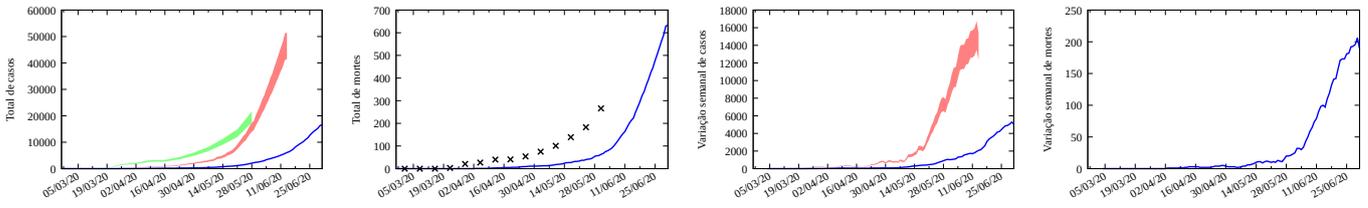
Goiás



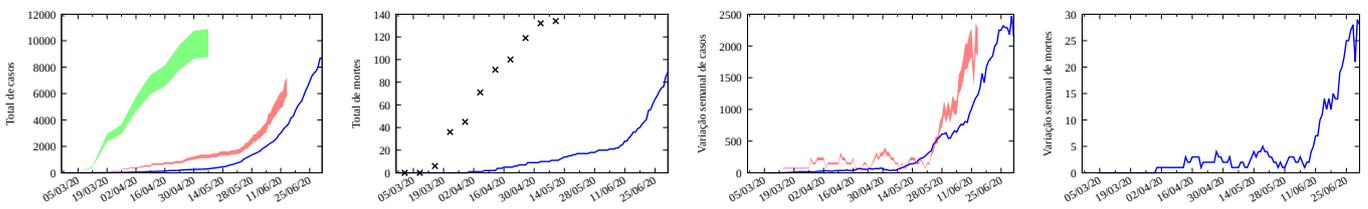
Maranhão



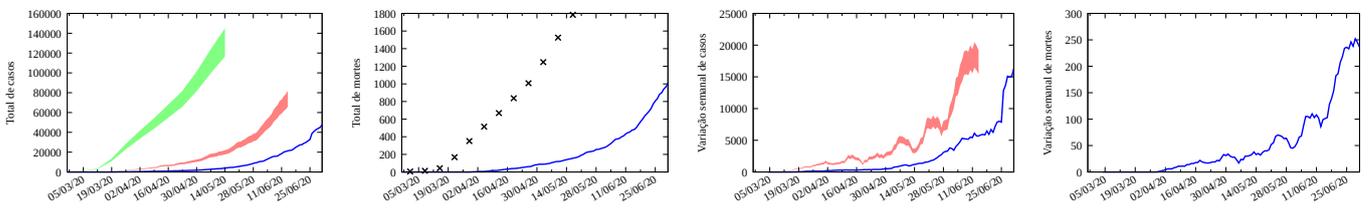
Mato Grosso



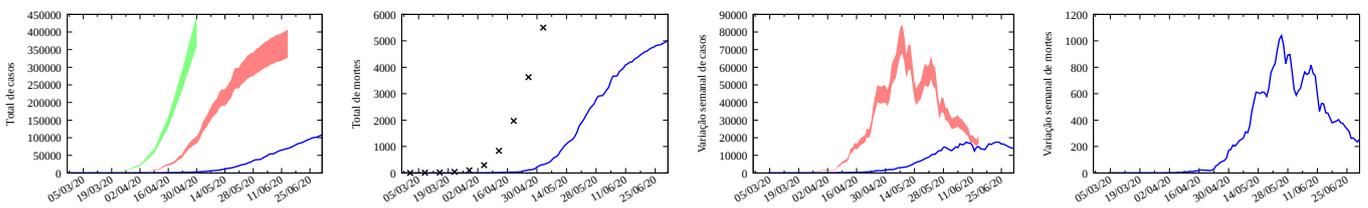
Mato Grosso do Sul



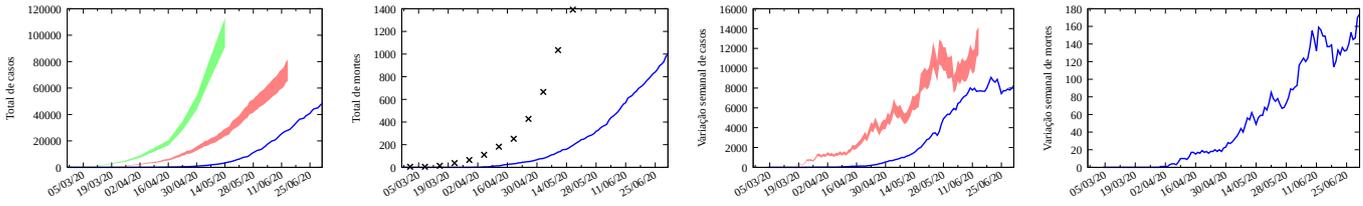
Minas Gerais



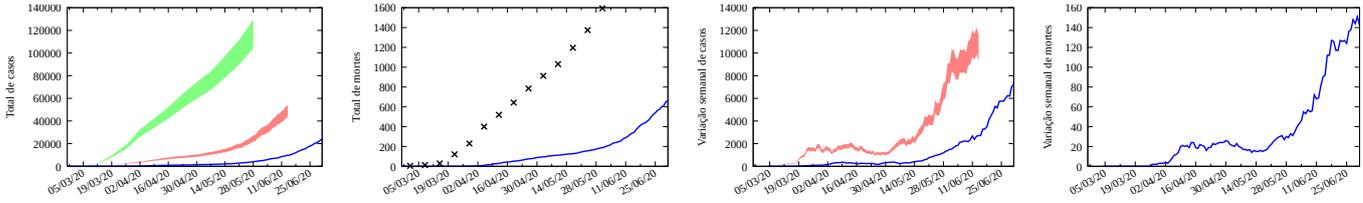
Pará



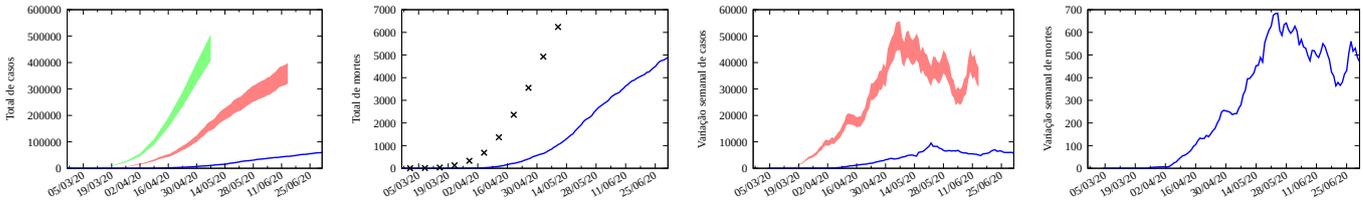
Paraíba



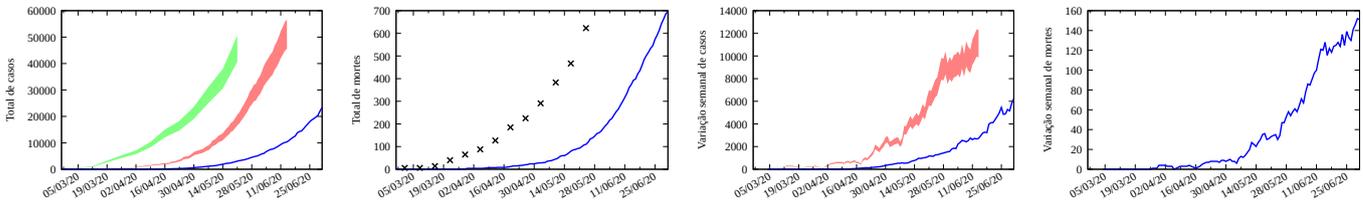
Paraná



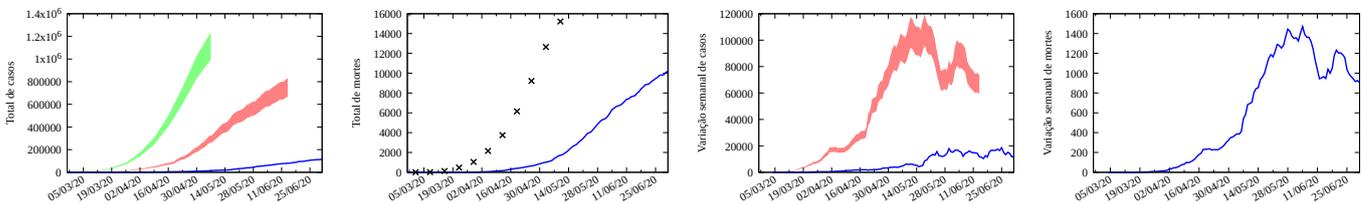
Pernambuco



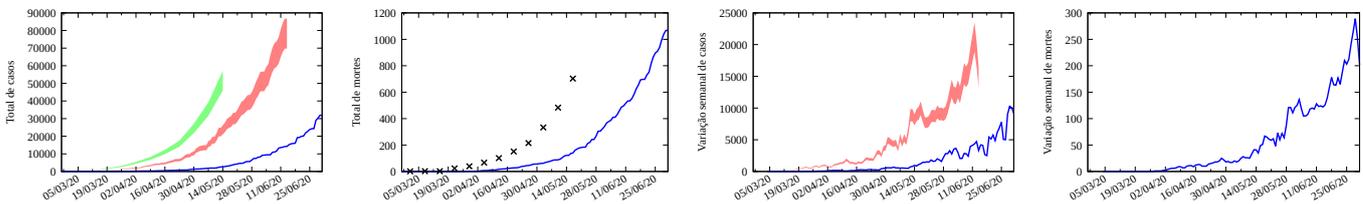
Piauí



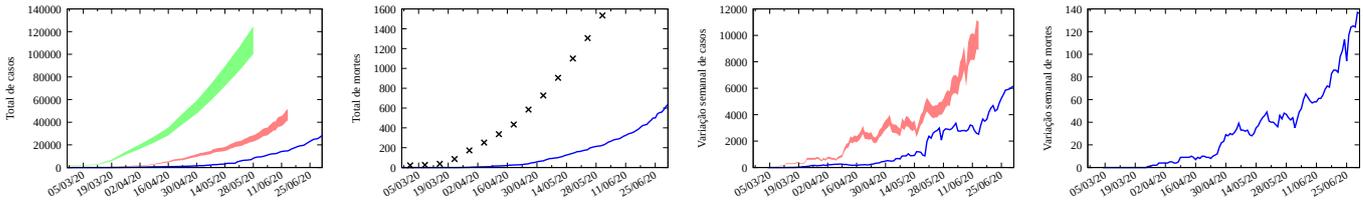
Rio de Janeiro



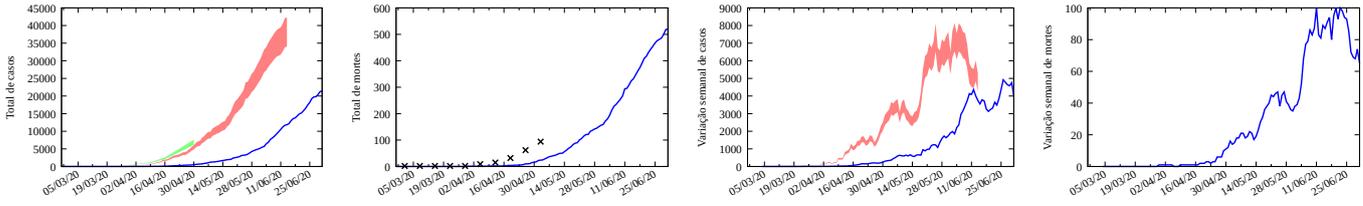
Rio Grande do Norte



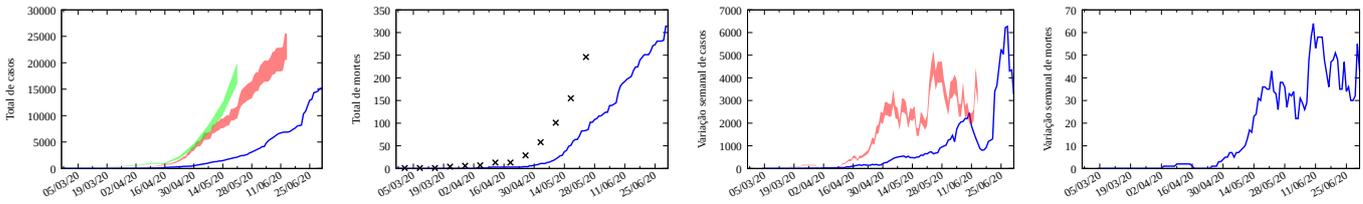
Rio Grande do Sul



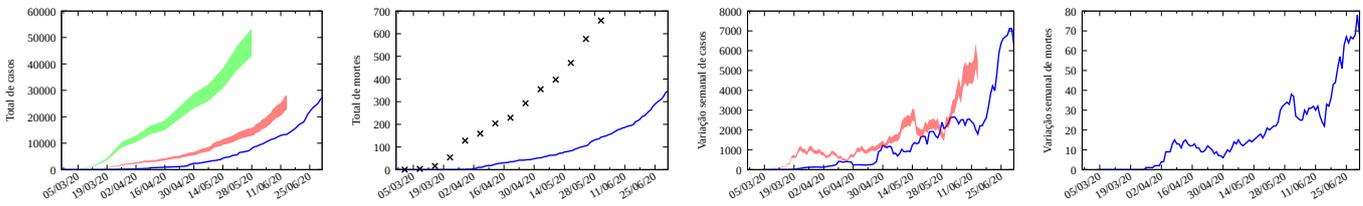
Rondônia



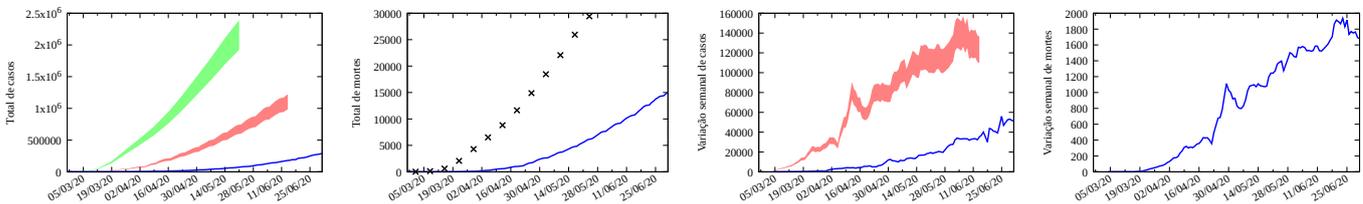
Roraima



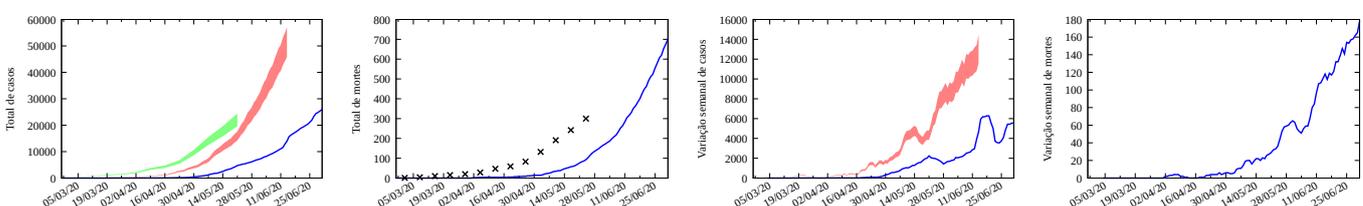
Santa Catarina



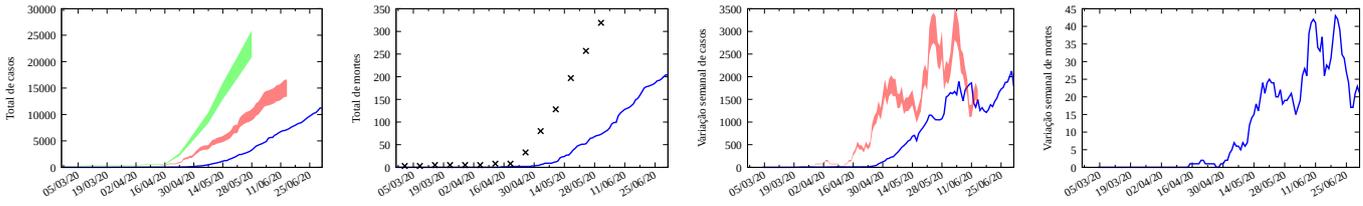
São Paulo



Sergipe



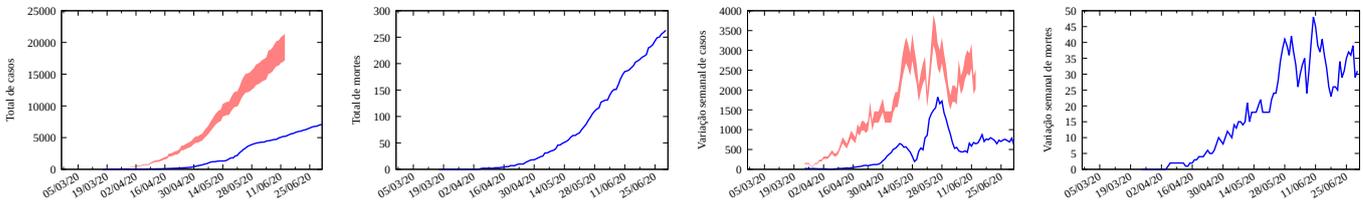
Tocantins



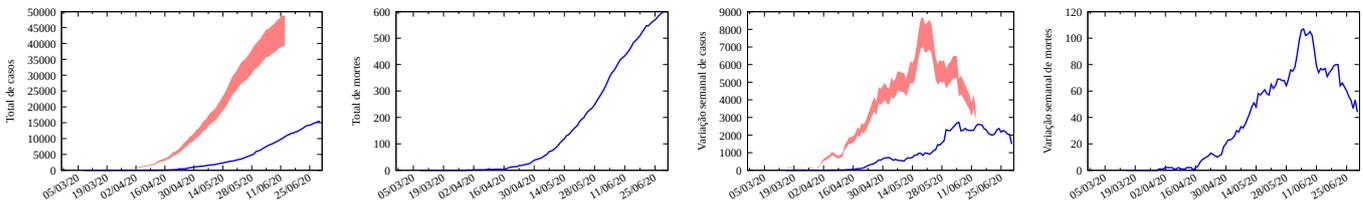
2.2 Capitais

Os dados para as capitais de cada estado são apresentados na série de gráficos a seguir. Não há dados identificados por município disponibilizados no site do INFOGRIFE.

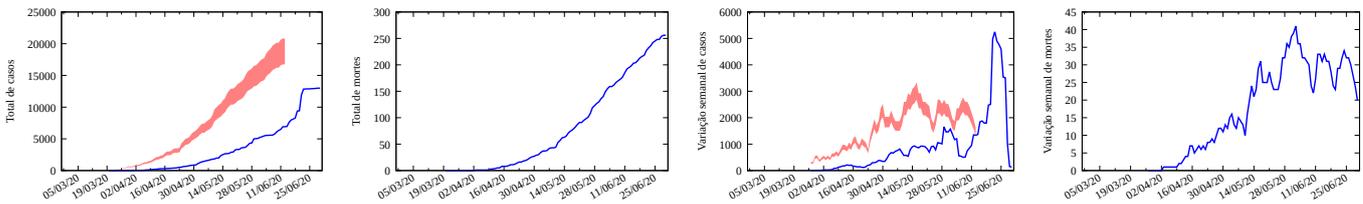
Rio Branco



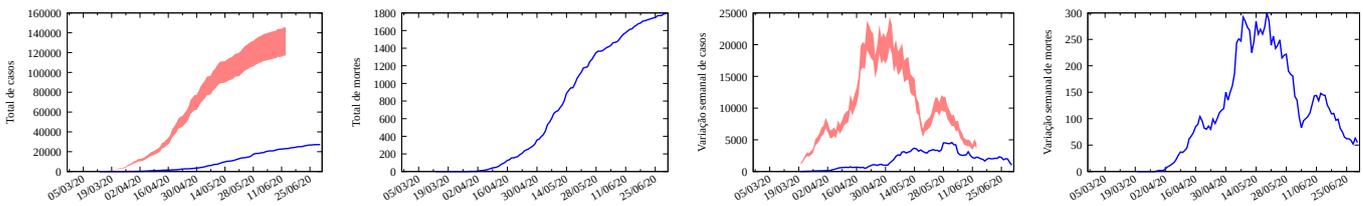
Maceió



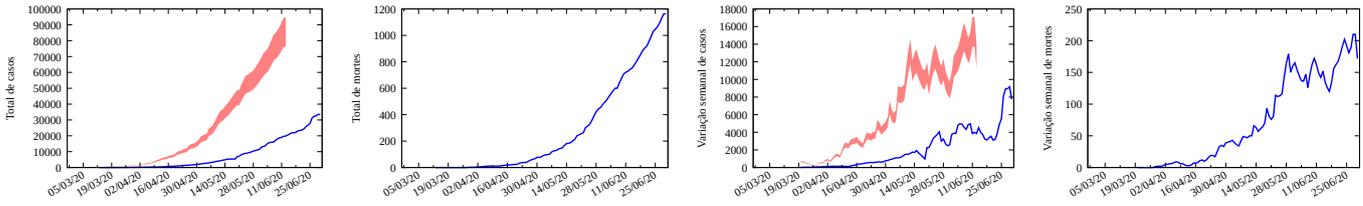
Macapá



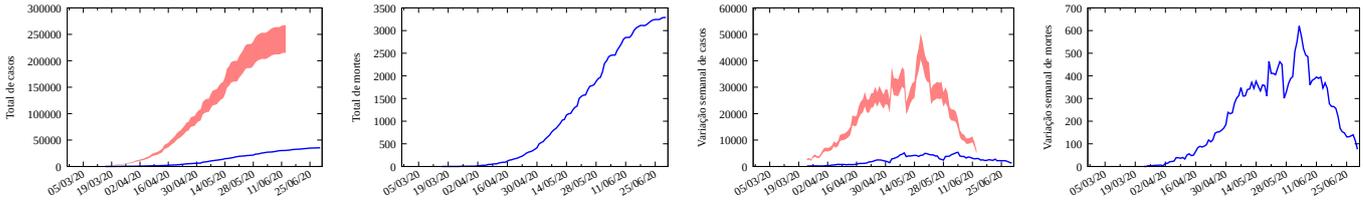
Manaus



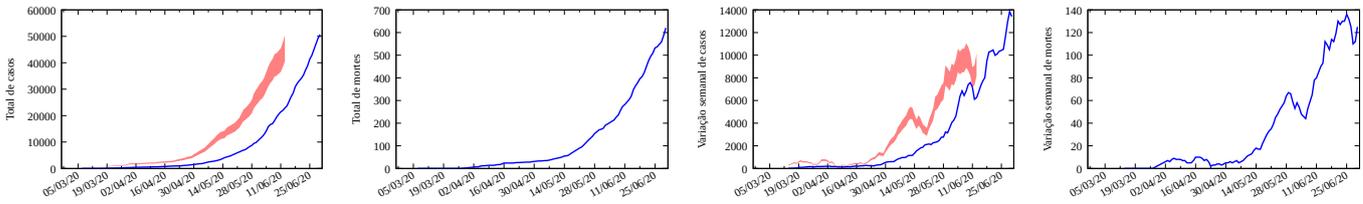
Salvador



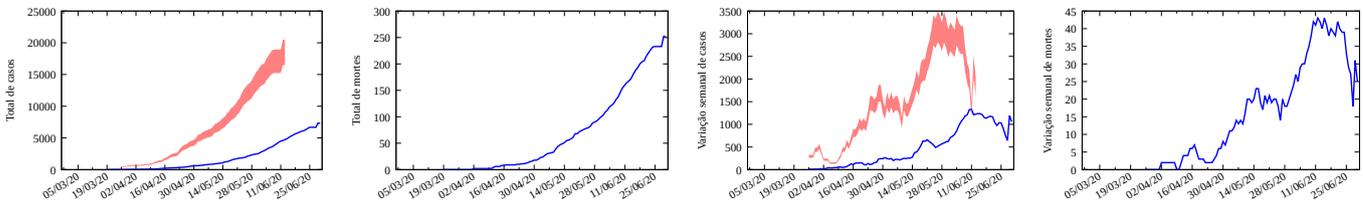
Fortaleza



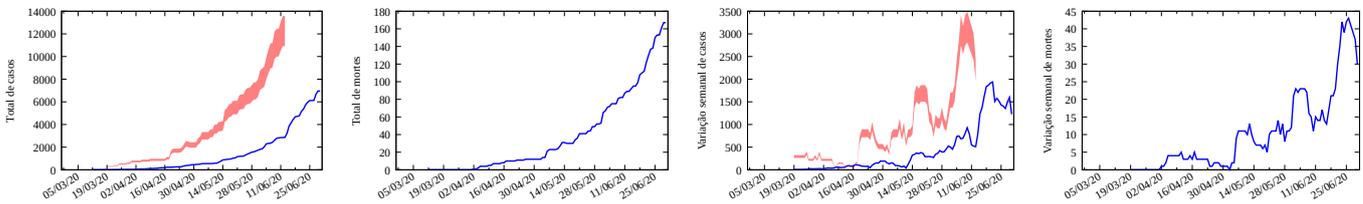
Brasília



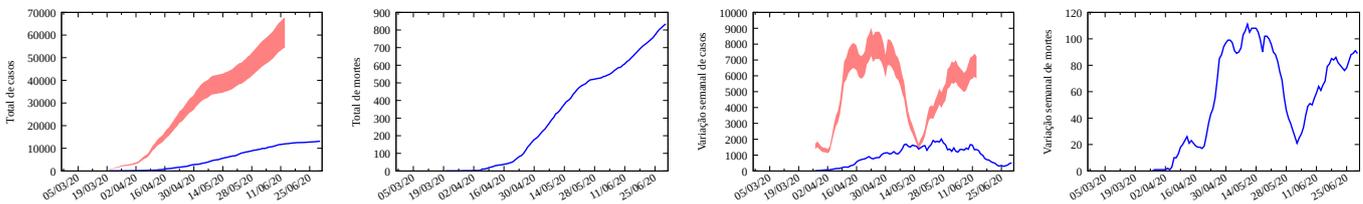
Vitória



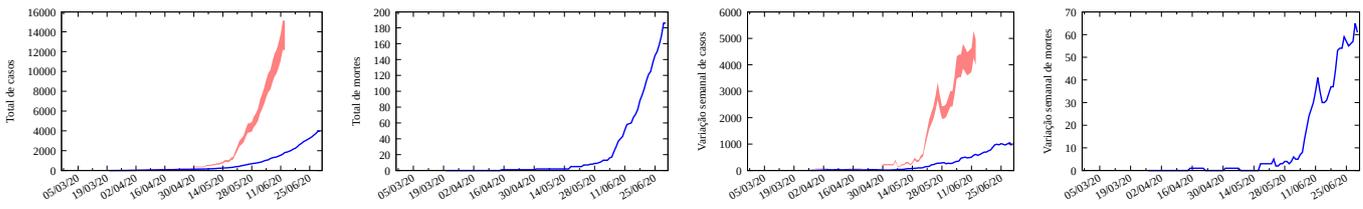
Goiânia



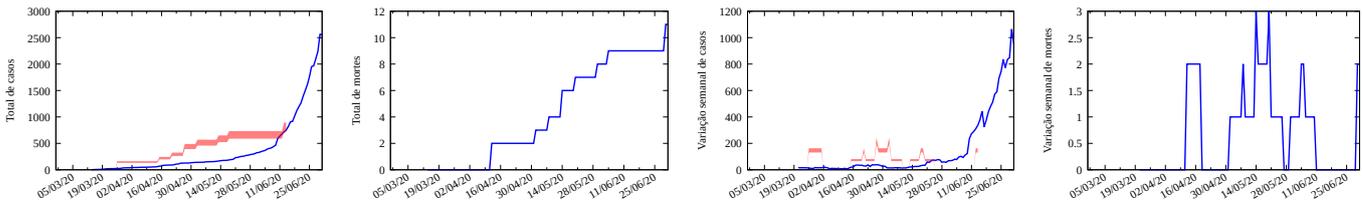
São Luís



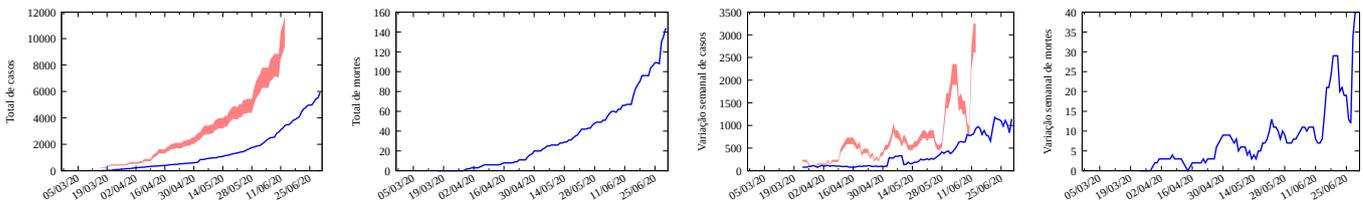
Cuiabá



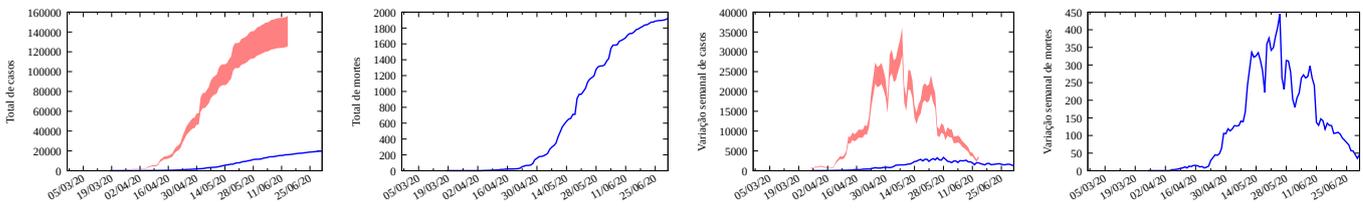
Campo Grande



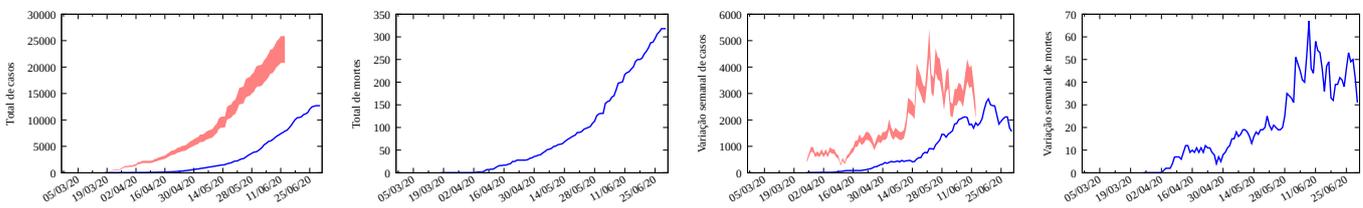
Belo Horizonte



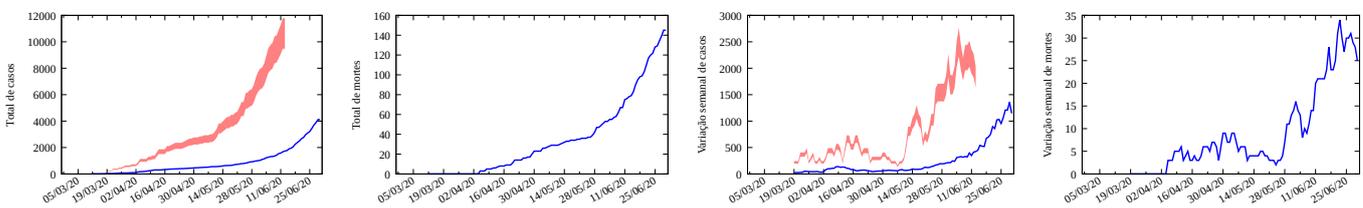
Belém



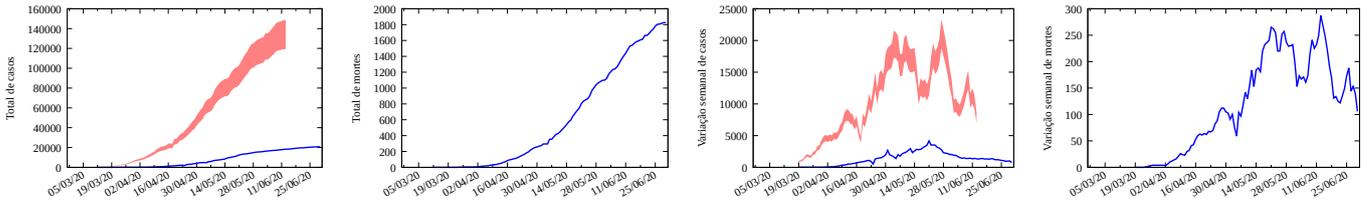
João Pessoa



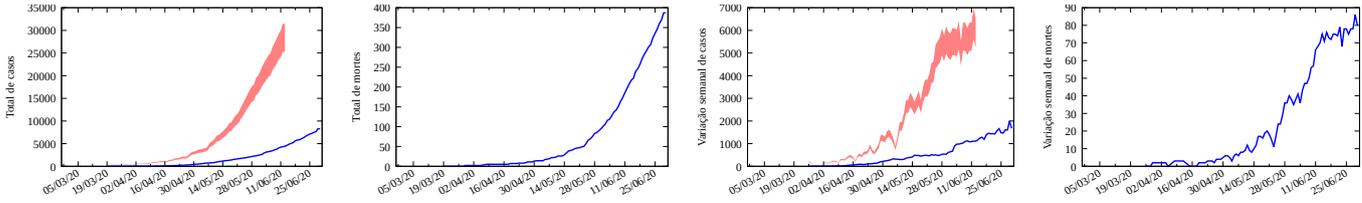
Curitiba



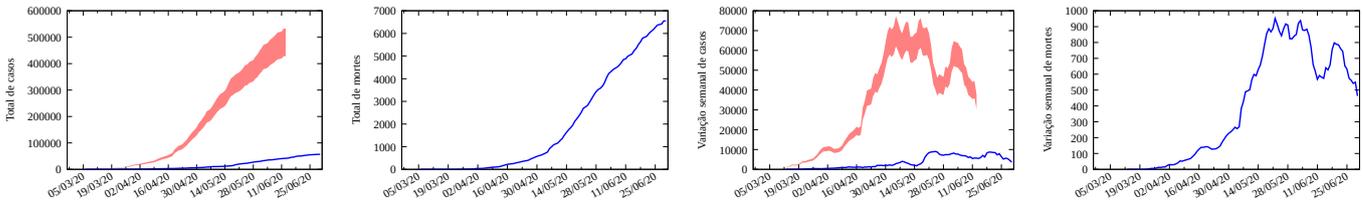
Recife



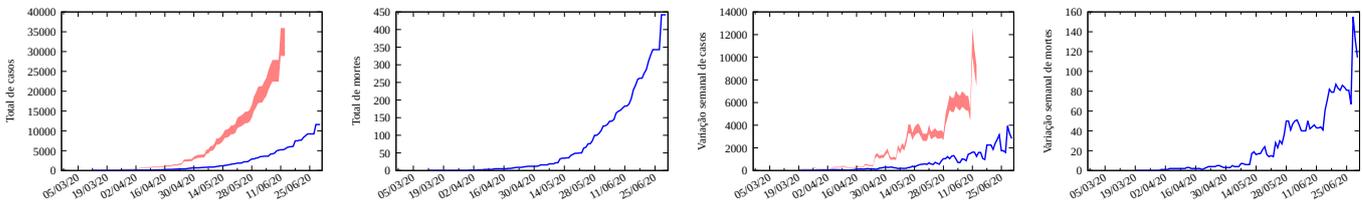
Teresina



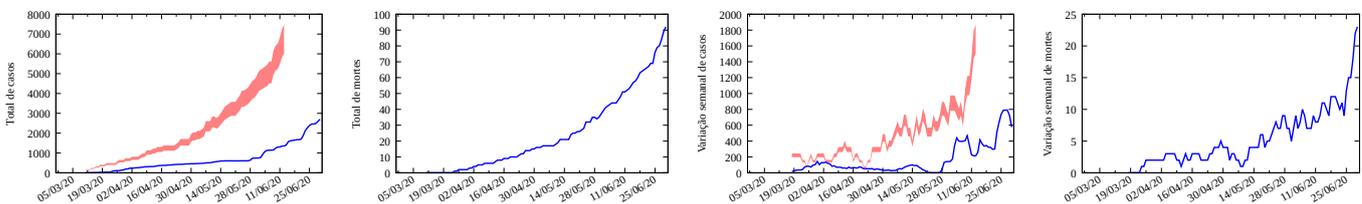
Rio de Janeiro



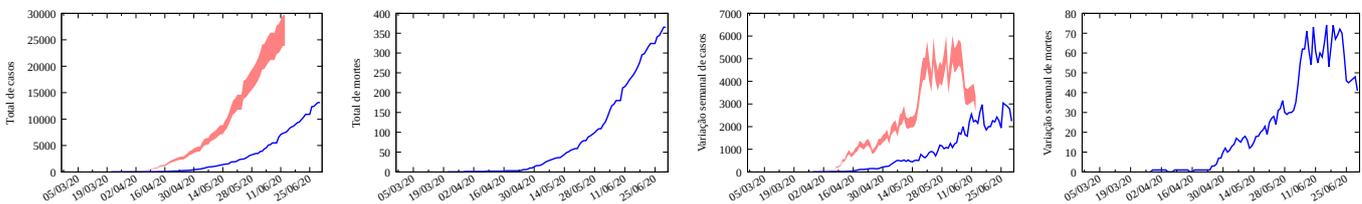
Natal



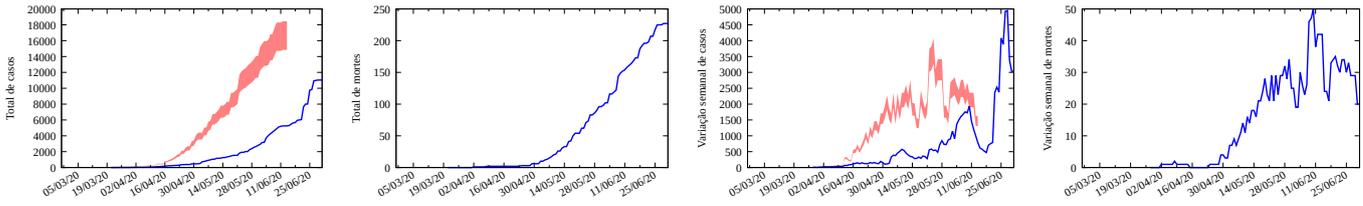
Porto Alegre



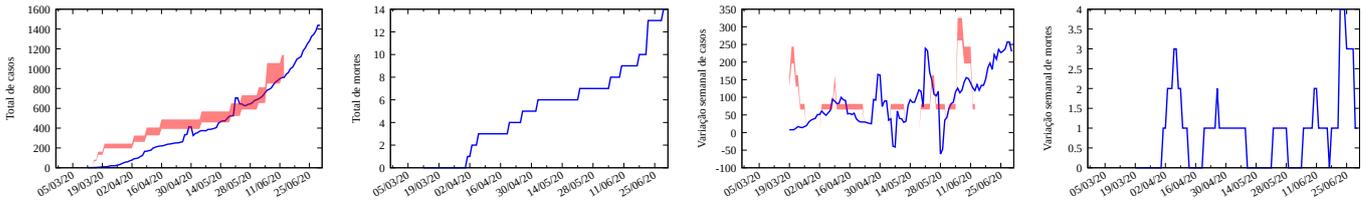
Porto Velho



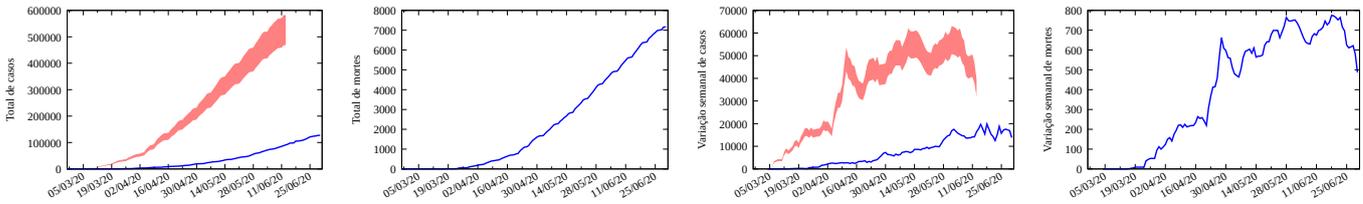
Boa Vista



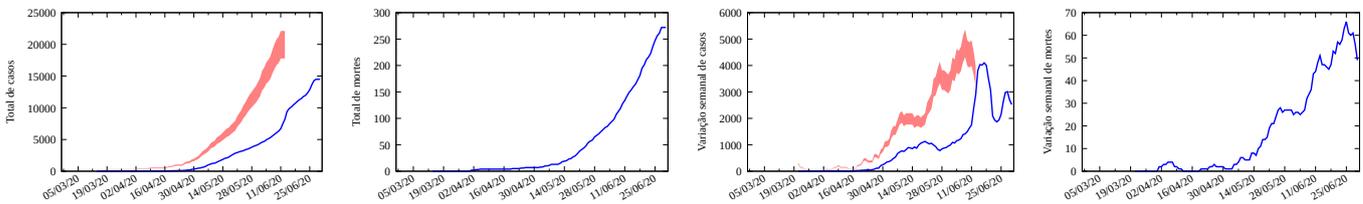
Florianópolis



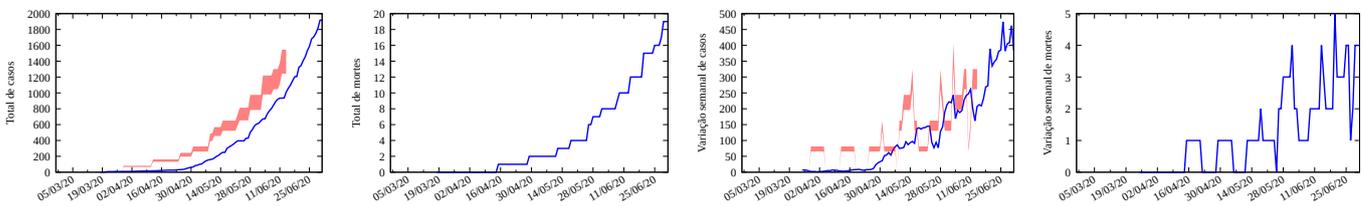
São Paulo



Aracaju



Palmas



3 TAXA DE TRANSMISSÃO β

A taxa de transmissão (por dia) do vírus, havendo um contato entre um indivíduo na fase contagiosa com um indivíduo suscetível, é dada por β . Ela depende essencialmente do número médio de contatos por indivíduo, que pode ser diminuído por medidas de isolamento social, e outras medidas como uso de máscara e manter uma distância mínima em locais públicos. Esse parâmetro varia com o tempo e é um indicador direto das medidas de mitigação da pandemia. Essa taxa pode ser estimada ajustando seu valor para que o total de casos ou o total de óbitos corresponda aos resultados do modelo matemático-epidemiológico descrito a seguir. Sua variação ao longo do tempo permite estimar quão efetivo tem sido o isolamento social em cada local.

3.1 Modelo epidemiológico

O modelo utilizado nesta nota técnica consiste em separar toda a população nas categorias descritas na tabela 2. Os parâmetros relevantes estão dados na tabela 3, com as respectivas fontes na literatura científica. Um ponto importante, e que reflete a realidade em diferentes países, é que os indivíduos infectados são divididos em duas categorias: os relatados e que portanto entram nas estatísticas oficiais, e os não relatados, usualmente por serem assintomáticos ou serem casos leves que permanecem em casa (ou deveriam). O estudo realizado por Li e colaboradores [6] a partir de dados da China mostra que cerca de 86% dos casos não foram relatados, e que cada um destes contaminou em média 55% o número de pessoas que um caso relatado contaminou.

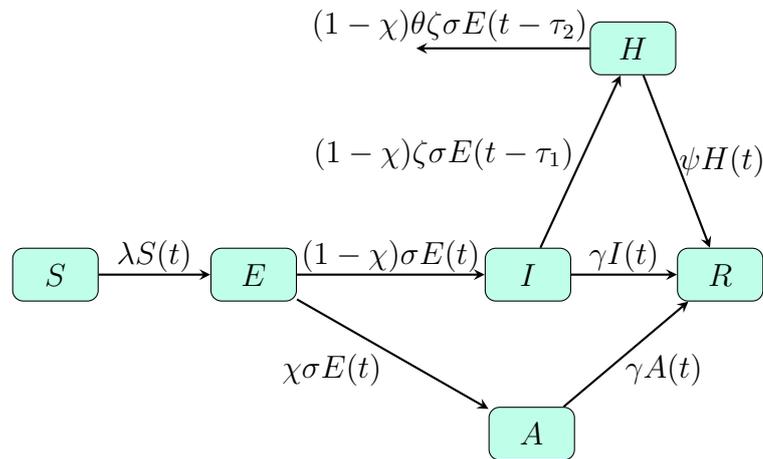
O modelo corresponde a um sistema de equações diferenciais com atraso e está representado esquematicamente no diagrama da figura 3.1 e foi utilizado em outra forma na referência [7].

Variável	Descrição
S	Proporção de indivíduos suscetíveis (não imunizados e não infectados).
E	Proporção de indivíduos expostos (infectados mas ainda não contagioso).
I	Proporção de indivíduos sintomáticos (infectados, contagiosos e com sintomas).
A	Proporção de indivíduos infectados e não relatados (usualmente infectados leves e assintomáticos).
H	Proporção de indivíduos hospitalizados.
R	Proporção de indivíduos recuperados de COVID-19 e imunizados.

Tabela 2: Variáveis no modelo SEIAHR.

Variáveis	Definição	Valor (IC 95%) [Ref]
ψ	Taxa de recuperação de internação hospitalar	$1/17,5 \text{ dias}^{-1}$ [3]
$L_i^{(0)}$	Mortalidade devida ao COVID-19 na faixa etária i	[1]
θ_i	Mortalidade entre os indivíduos hospitalizados na faixa etária i	$L_i^{(0)}/\zeta_i$
σ^{-1}	Inverso da taxa de incubação	$5,0 \text{ dias}^{-1}$ [5]
γ^{-1}	Inverso do tempo de recuperação dos indivíduos não-hospitalizados	$3,69 \text{ dias}^{-1}$ [6]
ζ_i	Probabilidade de hospitalização na faixa etária i	[8]
τ_1	Tempo mediano entre início dos sintomas e hospitalização	$3,3$ [5]
τ_2	Tempo médio entre início dos sintomas e morte	$15,0$ [5]
χ	Proporção de casos assintomáticos	$0,179\%$ [6]
ξ	Infecciosidade de indivíduos assintomáticos com relação aos sintomáticos	55% [6]

Tabela 3: Parâmetros do COVID-19 utilizados no modelo SEIAHR



A força de infecção denotada por λ no diagrama acima é dada por $\lambda = \beta I$.

A taxa de transmissão por contato β é obtida ajustando a saída do modelo com relação aos dados fornecidos, e tomando intervalos contíguos de tempo de 21 dias e supondo que β é constante ao longo de cada intervalo e que pode variar sobre diferentes intervalos. Os resultados obtidos desde o início da pandemia estão mostrados nos gráficos abaixo para cada estado e respectiva capital, agrupados por região geográfica

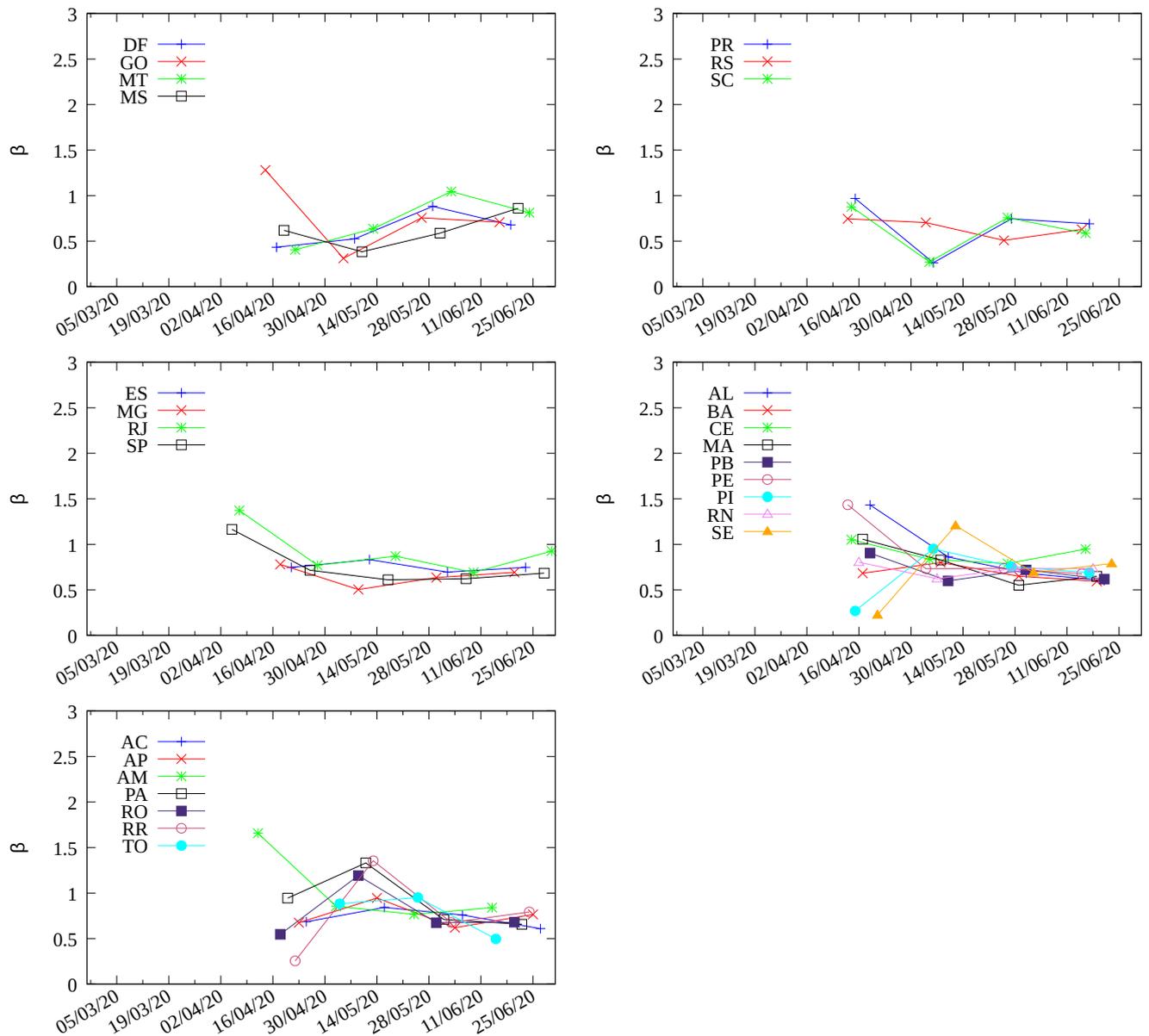


Figura 1: Taxa de transmissão β a partir do ajuste do modelo SEIAHR pelo número oficial de mortes por estado.

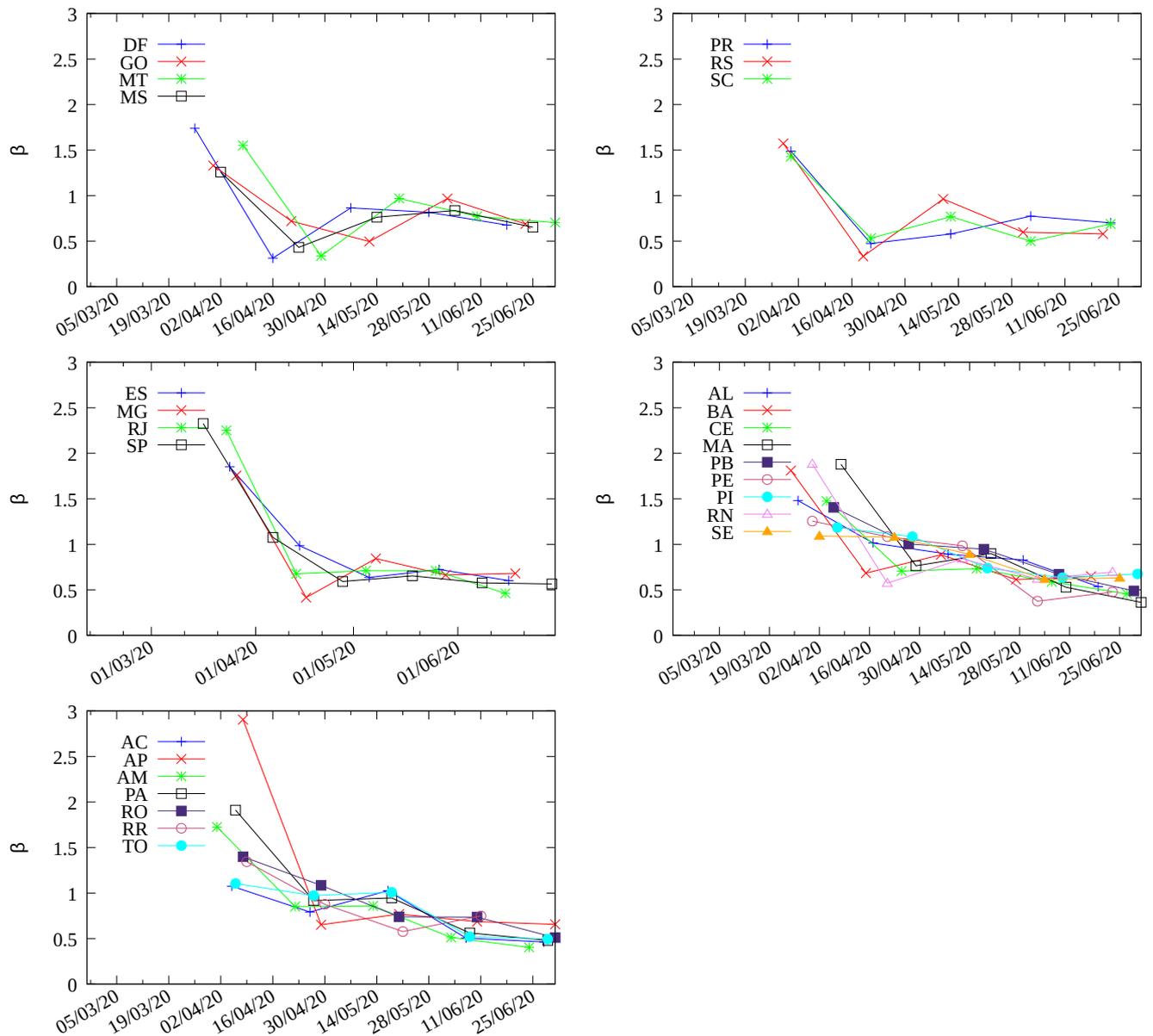


Figura 2: Taxa de transmissão β a partir do ajuste do modelo SEIAHR pelo número oficial de casos por estado.

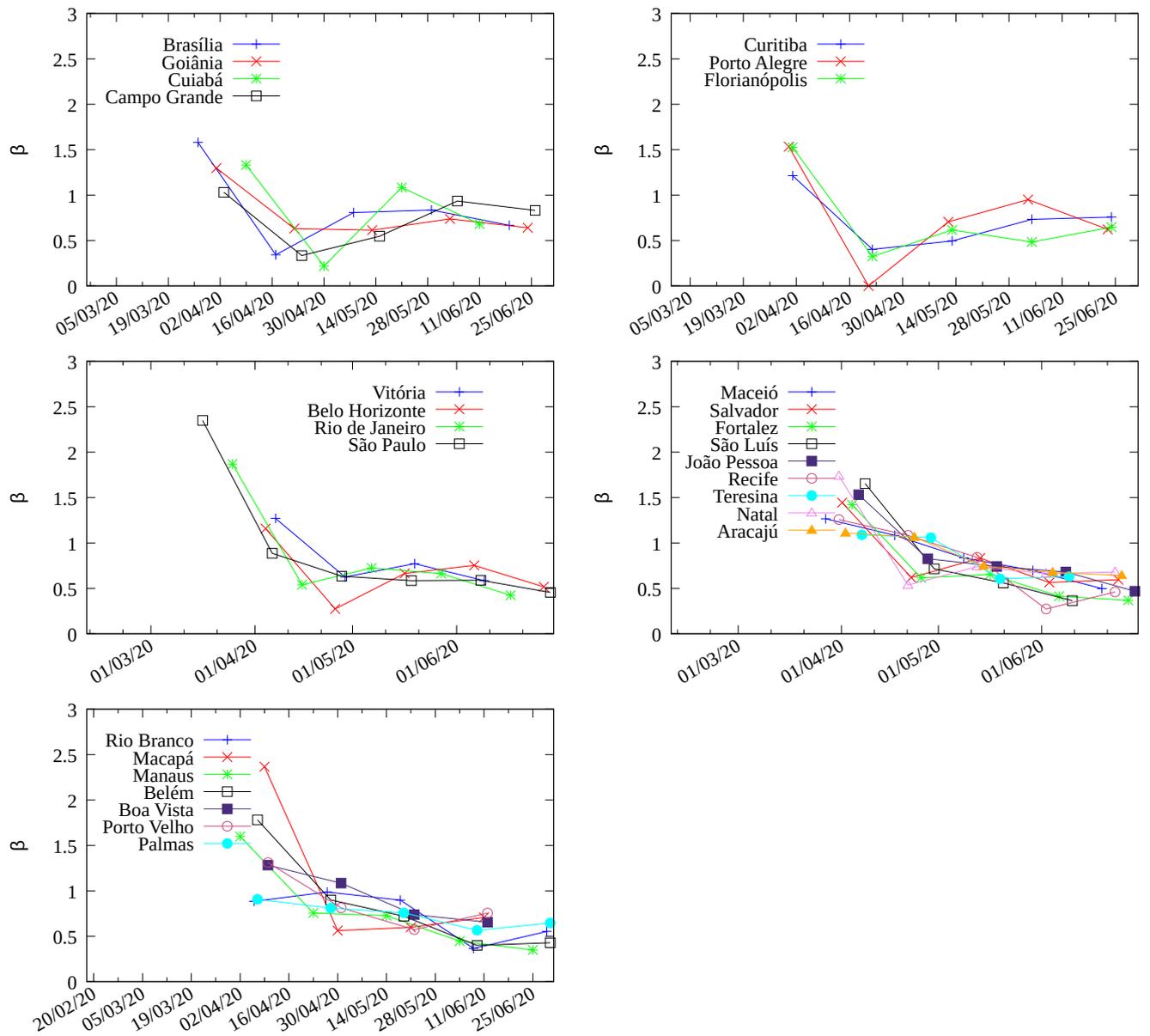


Figura 3: Taxa de transmissão β a partir do ajuste do modelo SEIAHR pelo número oficial de casos para cada capital.

4 NÚMERO DE REPRODUÇÃO BÁSICO R_t

O número de reprodução básico R_t é definido como sendo o número médio de pessoas contaminadas por um indivíduo infectado, e varia com o tempo pois depende das medidas de isolamento social e de cuidados de higiene e porte de máscara, assim como do número de indivíduos suscetíveis na população. Ele é calculado a partir do número de casos novos por dia conforme a referência [13].

Abaixo apresentamos os resultados para cada unidade da federação e cada capital, a partir do número oficial de casos relatados, e do número de casos estimados inferidos do número oficial de óbitos. O cálculo foi feito considerando o número de casos sobre as duas semanas anteriores. Para evitar oscilações nos valores de R_t devidas a variações nos dados de casos, ele é calculado sobre sete dias sobre os quais tomamos uma média e o respectivo desvio padrão, que nos permite avaliar também o intervalo de confiança de 95% que corresponde às barras de erros nos gráficos.

Os resultados são mostrados nas figura. O valor estimado para a transmissão do SARS-CoV-2 na ausência de qualquer medida de controle é próximo a 3 [2]. A importância de determinar esse parâmetro está no fato de que caso seu valor seja maior do que um, o número de casos novos por dia está crescendo, e a epidemia está acelerando. Caso seja menor do que um significa uma desaceleração da propagação do vírus. Isso nos permite estimar melhor a situação em cada localidade, e assim fornecer informações úteis para avaliar as medida de mitigação adotadas até o presente momento. Observamos que o valor de R_t para Campo Grande, estimado a partir do número de mortes, é mostrado como zero pois não houve registro de mortes no período utilizado para o cálculo, segundo os dados disponíveis.

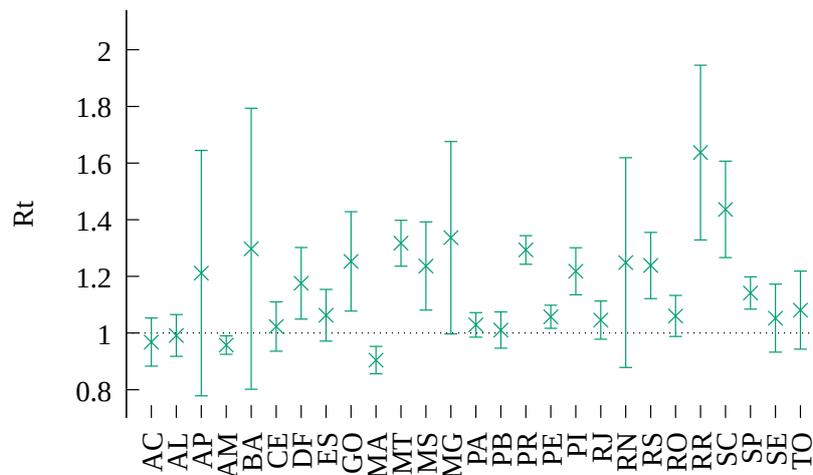


Figura 4: Número de reprodução básico R_t em cada unidade da federação em 1/7/2020 a partir do número oficial de casos.

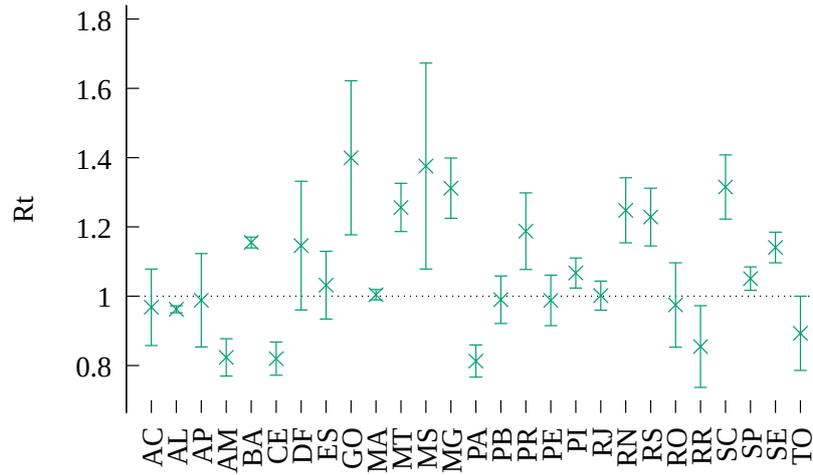


Figura 5: Número de reprodução básico R_t em cada estado 1/7/2020 a partir do número oficial de óbitos.

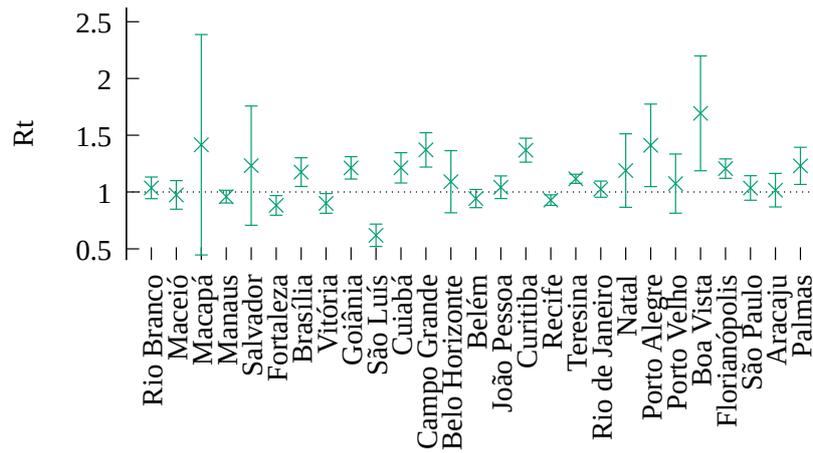


Figura 6: Número de reprodução básico R_t em cada capital 1/7/2020 a partir do número oficial de casos.

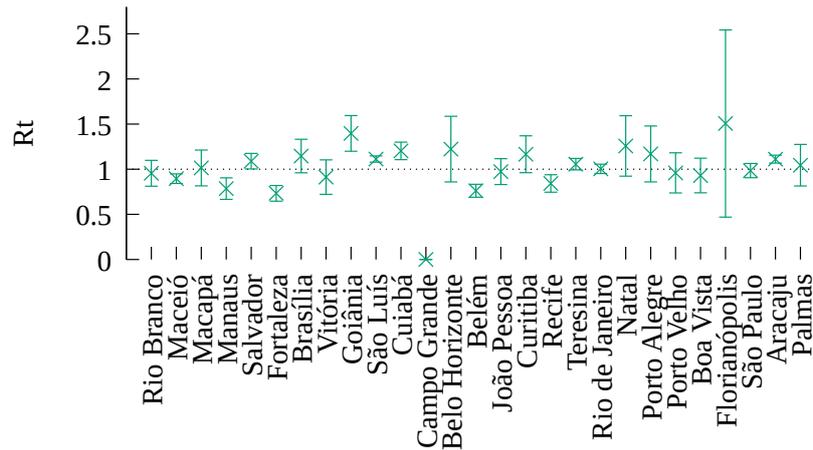


Figura 7: Número de reprodução básico R_t em cada capital 1/7/2020 a partir do número oficial de óbitos.

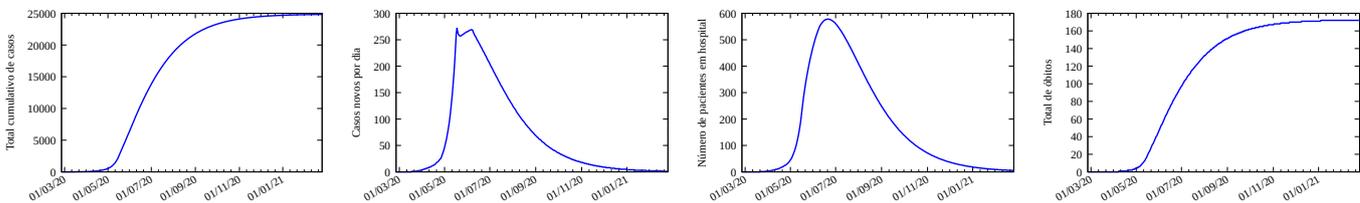
5 PROGNÓSTICOS PARA CADA ESTADO

Os prognósticos apresentados nos gráficos a seguir foram obtidos do modelo SEIAHR descrito mais acima, e utiliza o último valor de β ajustado a partir da série temporal no número oficial do total de casos, e supondo que β permanece constante a partir da data atual. Cabe ressaltar que eventuais medidas que impactem no grau de isolamento social, ou mesmo mudanças comportamentais na população, modificam as previsões que apresentamos a seguir. Elas também refletem a qualidade dos dados disponíveis.

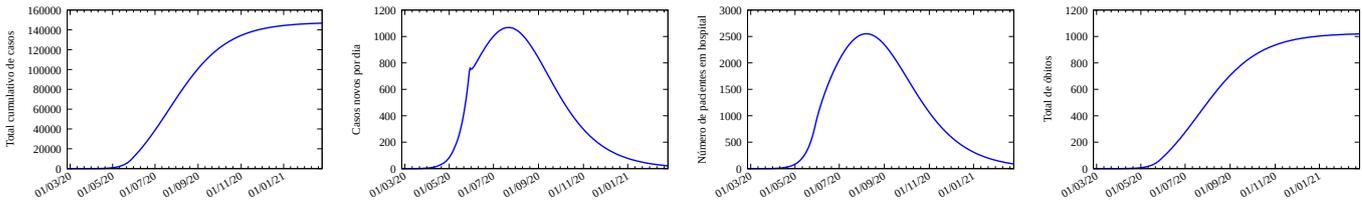
Para cada estado apresentamos os gráficos da evolução prevista para, na ordem, o número total de casos, o número de casos novos por dia, o número de pessoas ocupando leitos hospitalares em cada dia e o número total de mortes até a respectiva data. A estimativa da demanda de leitos de UTI é de cerca de um quarto do total previsto de leitos, mas que não tem sido observado no Brasil [4].

Cabe ressaltar que ao supormos uma taxa de 18% de indivíduos reportados (baseado em um estudo na China continental em [6]), sobre a qual incide por sua vez a taxa de hospitalização e de mortalidade, os prognósticos a seguir tendem a ser bastante conservadores.

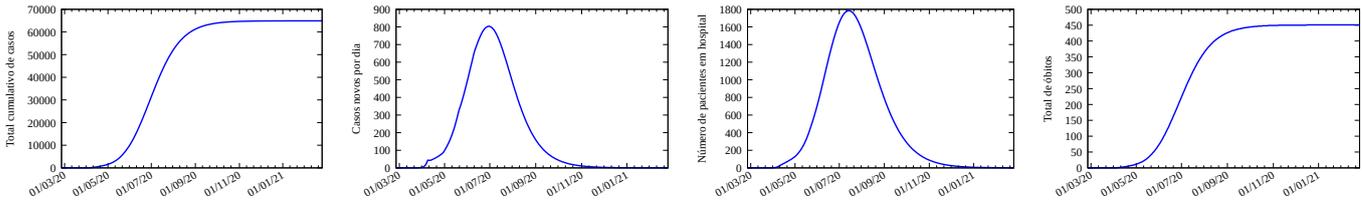
Acre



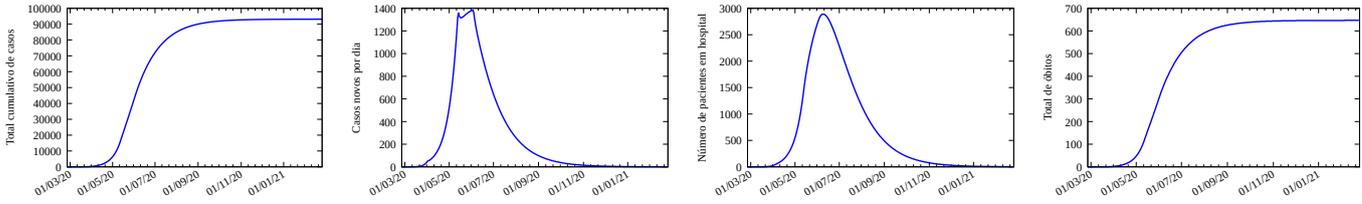
Alagoas



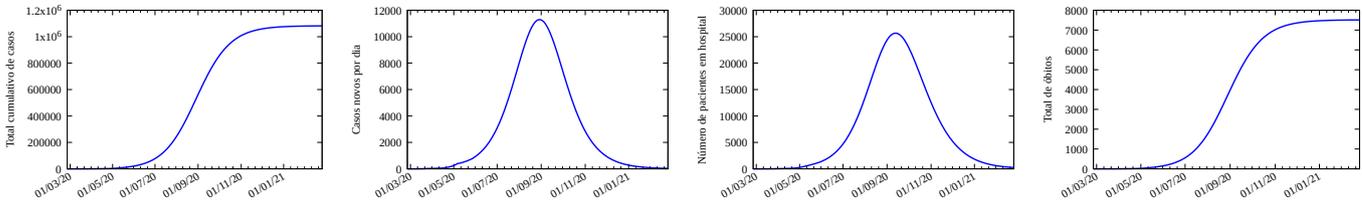
Amapá



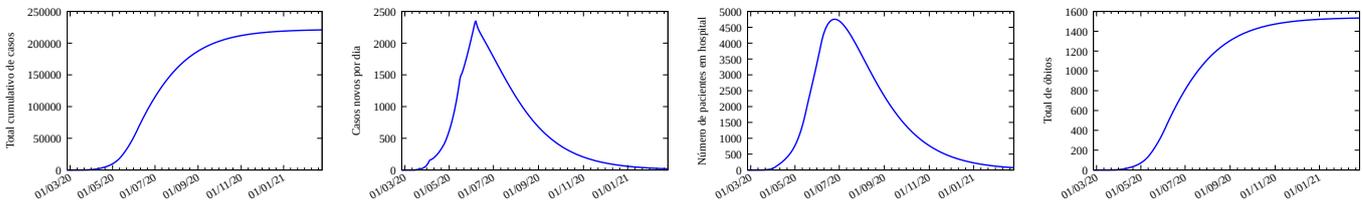
Amazonas



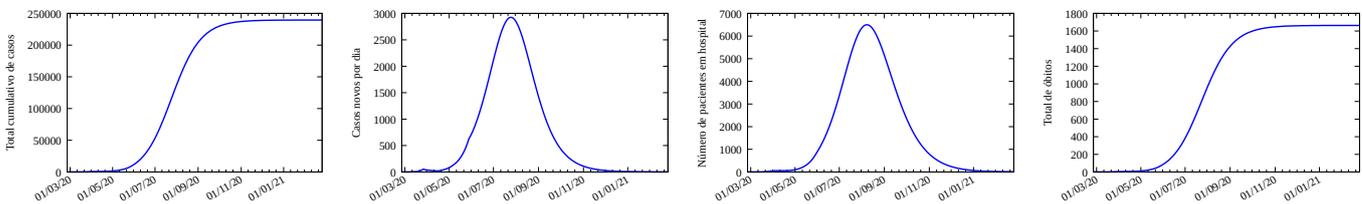
Bahia



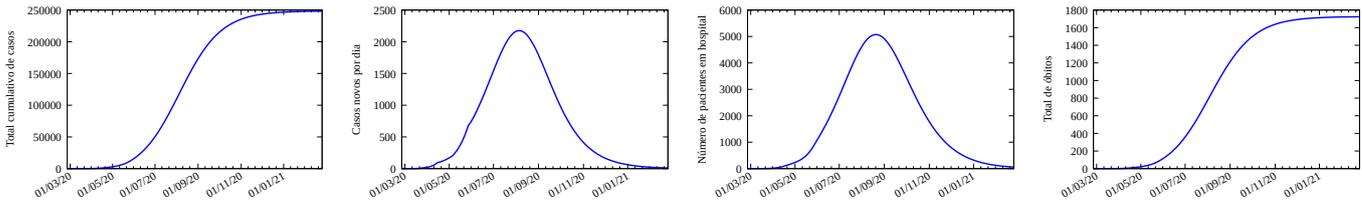
Ceará



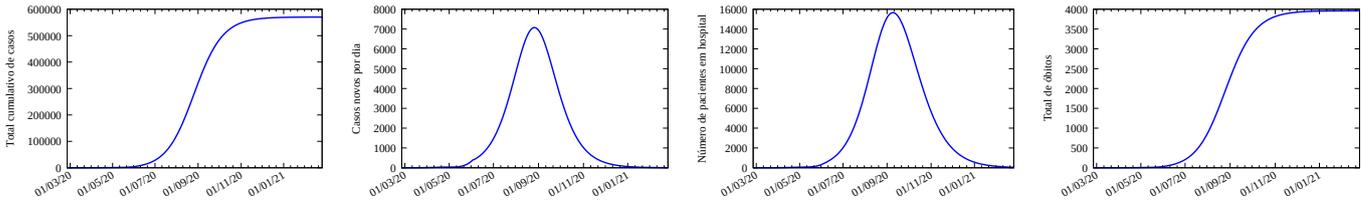
Distrito Federal



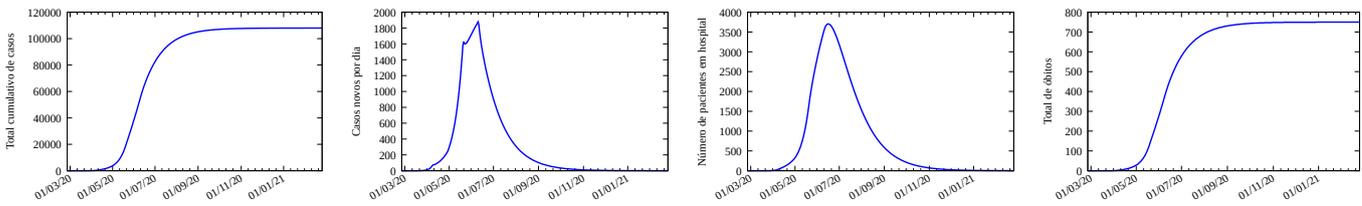
Espírito Santo



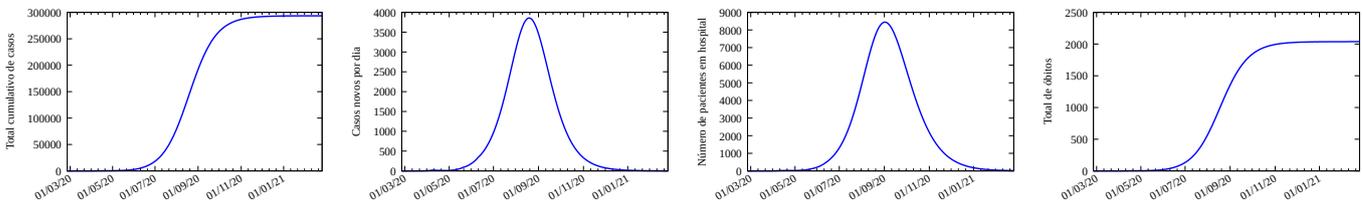
Goiás



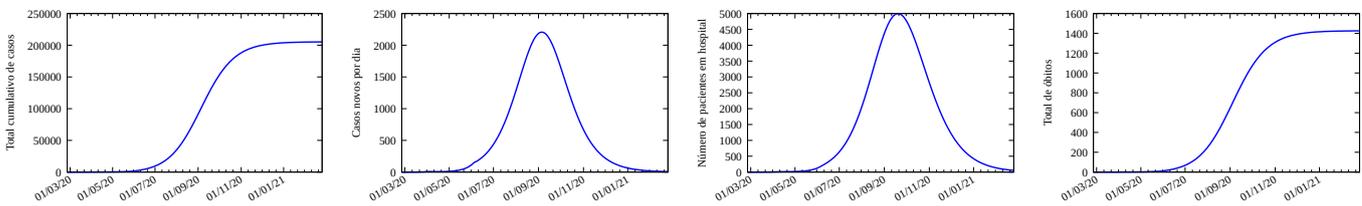
Maranhão



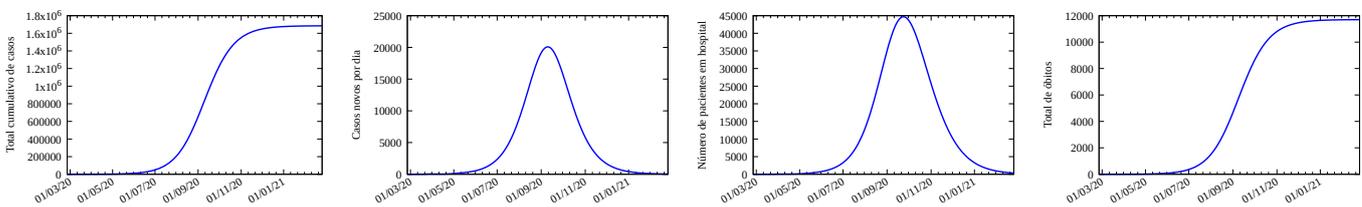
Mato Grosso



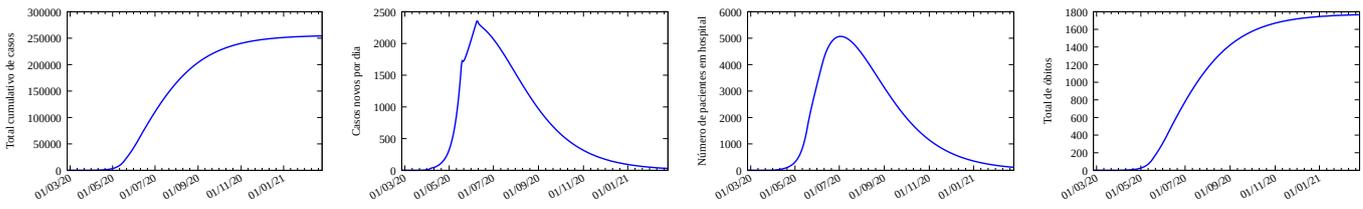
Mato Grosso do Sul



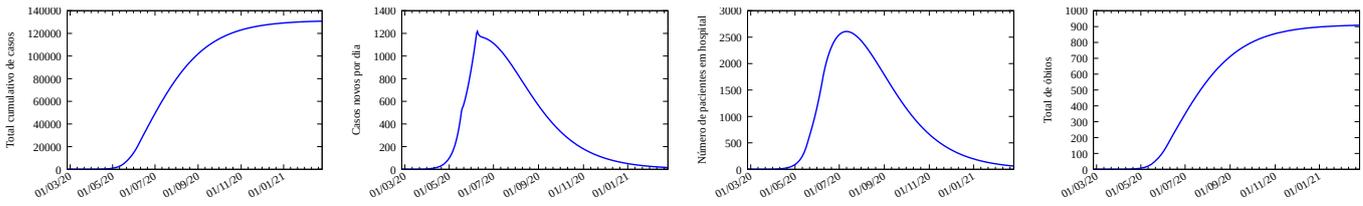
Minas Gerais



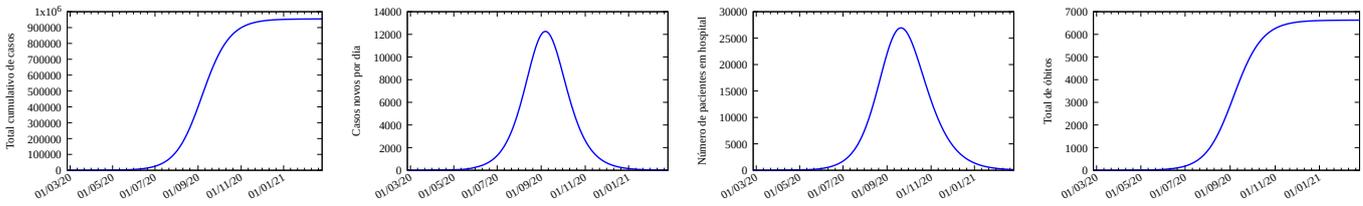
Pará



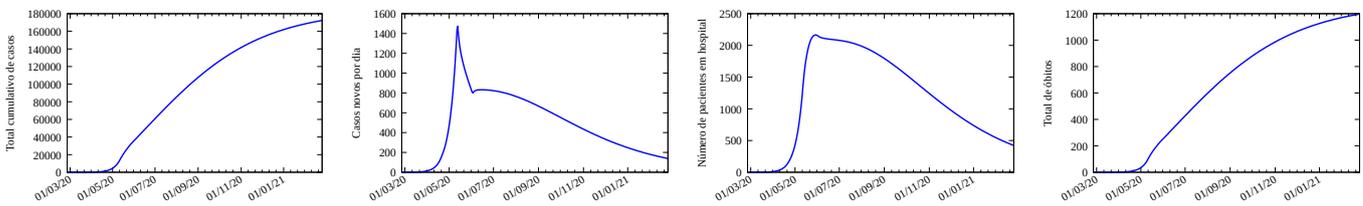
Paraíba



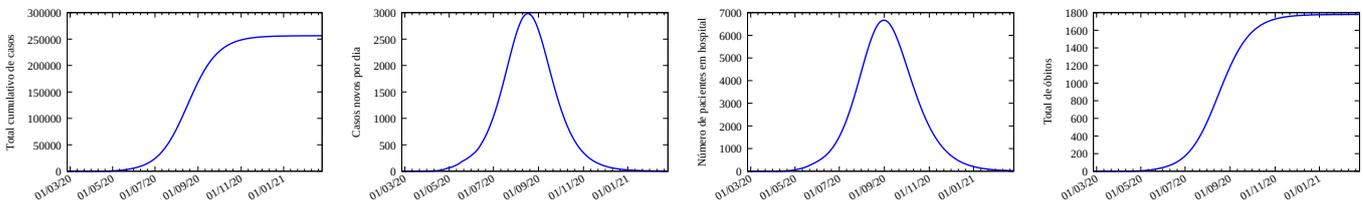
Paraná



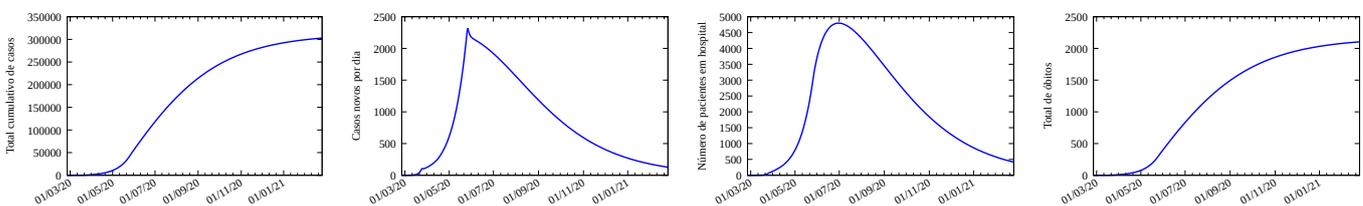
Pernambuco



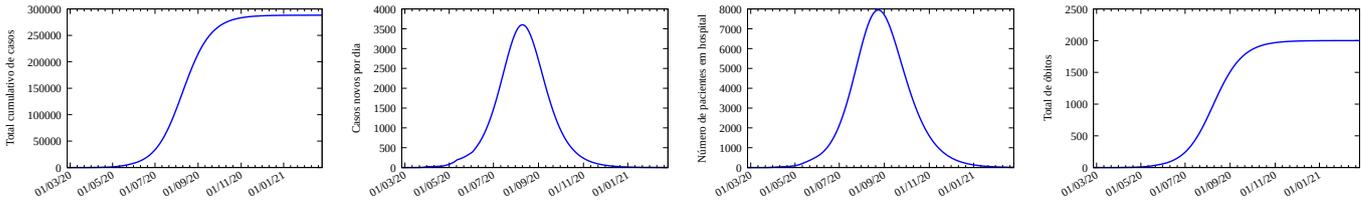
Piauí



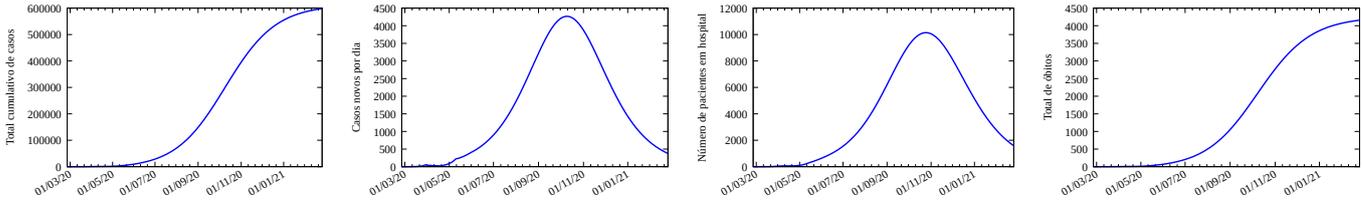
Rio de Janeiro



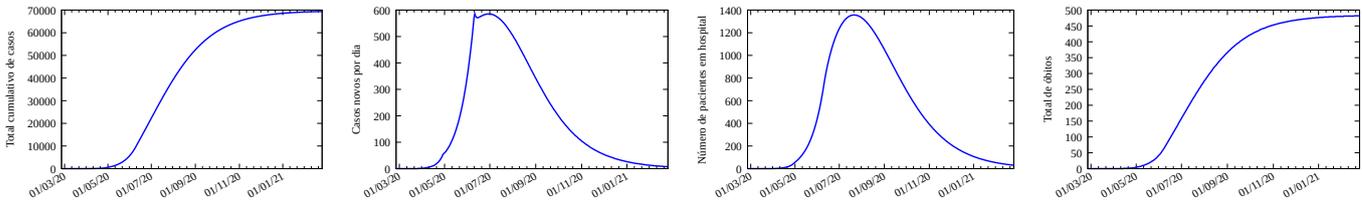
Rio Grande do Norte



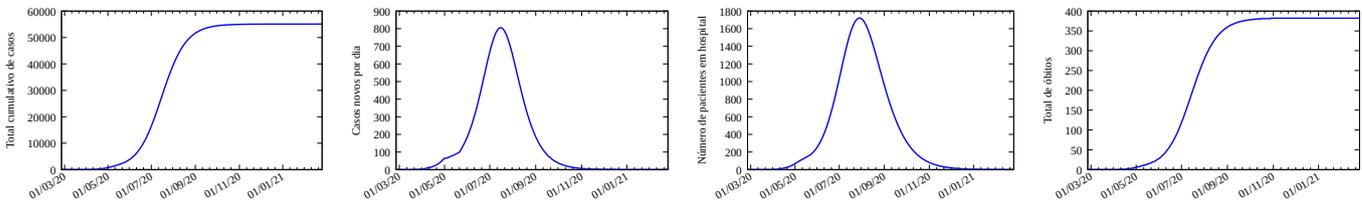
Rio Grande do Sul



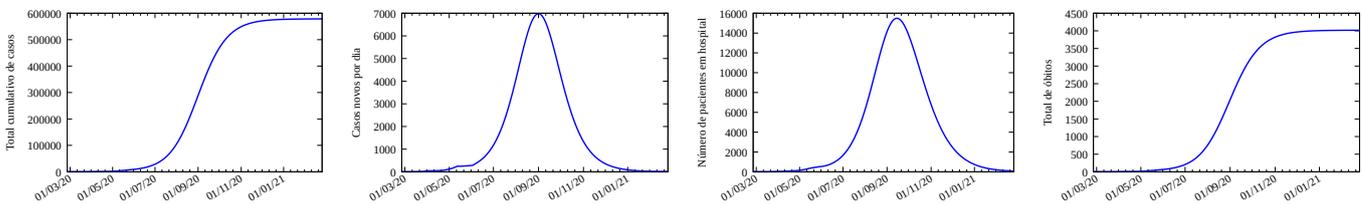
Rondônia



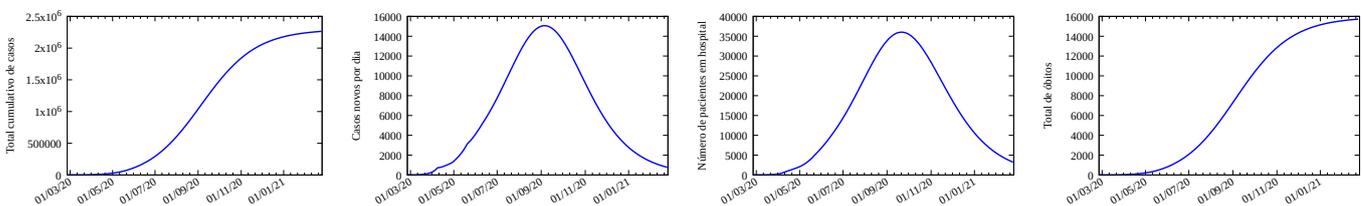
Roraima



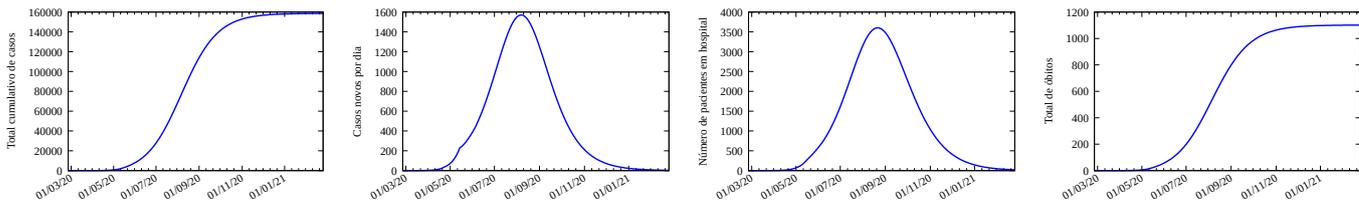
Santa Catarina



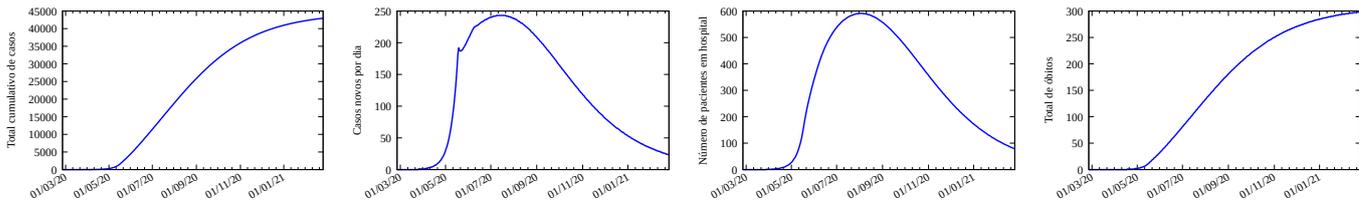
São Paulo



Sergipe



Tocantins



6 ANÁLISES

A proposta desta nota técnica é termos cenários atualizados sobre a evolução da epidemia no país. Nesse sentido, apresentamos diferentes perspectivas e informações acerca do contágio em cada estado e no Distrito Federal.

Os dados apresentados nas seções 2.1 e 2.2 nos permitem comparar o número oficial do total de casos com a estimativa desse valor obtida a partir da mortalidade estimada na literatura e obtida em países com percentual de testagem muito maior do que no Brasil. Assim vemos que as curvas azuis (dados oficiais) e as vermelhas (estimativa a partir de número de óbitos) nos levam à conclusão de que há uma subnotificação de casos. Já os dados do INFOGRIPE só estão consolidados até um a dois meses atrás segundo o estado, o que só nos permite inferir deles o número de casos até um certo ponto da pandemia. Apesar disso, eles também evidenciam de forma muito clara o alto nível de subnotificação no Brasil. De forma geral, o quanto mais afastada for a curva verde da curva vermelha, maior o indício de subnotificação no estado (maior o número de SRAG em excesso no estado sem uma causa definida). Os prognósticos também fornecem uma previsão conservadora para o número de mortos em um ano de pandemia em cada estado, assim como a demanda de leitos hospitalares, notando que um quarto destes são de leitos de UTI.

Tais prognósticos seriam significativamente alterados caso o processo de relaxamento do isolamento social em curso em muitos locais do Brasil seja mantido, com o conseqüente aumento do número de mortes e de hospitalizações. Com o mais do que provável saturamento do sistema de saúde em cada estado, a mortalidade da pandemia e por outras causas seria ainda maior.

6.1 Taxa de transmissão ao longo do tempo

A taxa de transmissão do vírus β foi obtida ajustando o modelo SEIAHR apresentado na seção 3.1, a partir tanto da série temporal do total de casos como da série do total de mortes em cada unidade da federação, e apresenta no momento da redação desta nota um valor tendendo para 0,6, ou seja, cada indivíduo infectado transmite o vírus a uma taxa média para 0,6 indivíduos por dia. Os valores obtidos ao longo do tempo mostram que essa taxa era bem maior no início da pandemia no Brasil, entre 1,5 e 2,5, o que mostra a eficácia das medidas de isolamento social e outros cuidados (como obrigação do uso de máscaras) que foram adotados, mas que infelizmente se mostraram insuficientes como discutimos a seguir.

6.2 Taxa de crescimento da pandemia

Como explicado acima, o número de reprodução básico R_t permite saber se a pandemia está acelerando ou desacelerando (se for maior ou menor do que um respectivamente). Um ponto importante é que, devido à forma como R_t é calculado, se a proporção de subnotificação seja de casos ou óbitos for razoavelmente constante no período de tempo utilizado para o cálculo, o valor resultante não é alterado de forma significativa.

A tabela abaixo apresenta de forma sucinta os valores de R_t em cada estado e capital, baseado no número total de casos e no número total de mortes. Caso ambos sejam maiores do que um a epidemia está acelerando e casos ambos sejam menores do que um está desacelerando. Se nenhum dos dois ocorrer, a situação é considerada indefinida, ou seja, que há discordância significativa entre os dados de óbitos e do total de casos. Assim vemos que em 3 estados a situação poderia ser considerada controlada no momento, em 14 está acelerando e em 10 os dados disponíveis não permitem concluir sobre o estado da pandemia. Já no caso das capitais a epidemia está acelerando em 14, controlada em 3 e indefinida em 8 cidades.

Estado	R_t (casos)	R_t (mortes)	Situação	Capital	R_t (casos)	R_t (mortes)	Situação
AC	0,97	0,97	↓	Rio Branco	1,04	0,96	–
AL	0,99	0,96	↓	Maceió	0,97	0,90	↓
AP	1,21	0,99	–	Macapá	1,42	1,01	↑
AM	0,96	0,82	↓	Manaus	0,96	0,79	↓
BA	1,30	1,16	↑	Salvador	1,23	1,09	↑
CE	1,02	0,82	–	Fortaleza	0,88	0,73	↓
DF	1,18	1,15	↑	Brasília	1,18	1,15	↑
ES	1,06	1,03	↑	Vitória	0,90	0,91	↓
GO	1,25	1,40	↑	Goiânia	1,21	1,40	↑
MA	0,90	1,	–	São Luís	0,62	1,11	–
MT	1,32	1,26	↑	Cuiabá	1,21	1,20	↑
MS	1,24	1,38	↑	Campo Grande	1,37	0,0	–
MG	1,34	1,31	↑	Belo Horizonte	1,09	1,22	↑
PA	1,03	0,81	–	Belém	0,94	0,76	↓
PB	1,01	0,99	–	João Pessoa	1,04	0,97	–
PR	1,29	1,19	↑	Curitiba	1,37	1,17	↑
PE	1,06	0,99	–	Recife	0,93	0,84	↓
PI	1,22	1,07	↑	Teresina	1,12	1,06	↑
RJ	1,05	1,	–	Rio de Janeiro	1,03	1,	–
RN	1,25	1,25	↑	Natal	1,19	1,26	↑
RS	1,24	1,23	↑	Porto Alegre	1,41	1,17	↑
RO	1,06	0,98	–	Porto Velho	1,07	0,96	–
RR	1,64	0,86	–	Boa Vista	1,69	0,93	–
SC	1,44	1,32	↑	Florianópolis	1,21	1,51	↑
SP	1,14	1,05	↑	São Paulo	1,04	0,99	–
SE	1,05	1,14	↑	Aracaju	1,02	1,11	↑
TO	1,08	0,89	–	Palmas	1,23	1,04	↑

Tabela 4: Valores médios de R_t e situação em cada estado e capital. A seta para cima ↑ indica que a epidemia está acelerando, seta para baixo ↓ que está desacelerando e o traço horizontal ‘–’ que os dados são inconclusivos.

6.3 Prognósticos da evolução futura nos estado

Os prognósticos apresentados na seção 5 obtidos a partir do modelo SEIAHR permitem prever a evolução da pandemia a partir da situação atual, caso este não se altere. Em particular, permite ter

uma ideia de quando a epidemia atingirá seu ápice (máximo do número de casos novos por dia). Dito isto, destacamos que São Paulo só deverá atingi-lo no início de Setembro, com uma diminuição significativa do número de casos novos apenas no início de 2021, e sendo ele o nosso maior *hub*, deverá contribuir para o aumento de COVID-19 no Brasil por um tempo significativo ainda.

6.4 Isolamento social em cada estado e as Faces do Isolamento Social no Brasil

O nível de isolamento social em cada estado e no Distrito Federal pode ser estimada utilizando a situação da movimentação média no Brasil no relatório COVID-19 Community Mobility Report da Google sobre mobilidade [11], que mede o percentual de tempo gasto em diferentes locais. Os dados do relatório foram agrupados em seis elementos: varejo e recreação, mercados e farmácias, parques, estações de transporte público e residências. Foi calculado de quanto variou o tempo gasto em cada um em relação ao valor de base correspondendo a fevereiro de 2020. Para representar na forma de diagramas a situação do isolamento social em cada unidade da federação, utilizamos as faces de Chernoff, um método de mineração de dados onde as diferenças entre as variáveis de conjuntos de dados multivariados são representadas na forma de rostos humanos [12]. A principal premissa consiste de que seres humanos têm a capacidade de reconhecer rostos facilmente e perceber pequenas diferenças sem dificuldade. Para cada variável é calculado o desvio com relação à média nacional. As faces para cada localidade são obtidas aumentando ou diminuindo cada propriedade facial descrita na tabela 5, segundo ela é maior ou menor do que a média nacional.

Propriedades Faciais	Variáveis
1 Altura do rosto	Estações de trânsito
2 Largura do rosto	Estações de trânsito
3 Estrutura do rosto	Locais de trabalho
4 Altura da boca	Mercearia e farmácia
5 Largura da boca	Mercearia e farmácia
6 Sorriso	Mercearia e farmácia
7 Altura dos olhos	Varejo e recreação
8 Largura dos olhos	Varejo e recreação
9 Altura do cabelo	Estações de trânsito
10 Largura do cabelo	Estações de trânsito
11 Estilo de cabelo	Estações de trânsito
12 Altura do nariz	Residencial
13 Largura do nariz	Residencial
14 Largura da orelha	Parques
15 Altura da orelha	Parques
16 Cor da Face	Média dos itens de 1 a 15

Tabela 5: Variáveis vs Propriedades Faciais utilizadas para a confecção das faces de Chernoff.

Podemos então identificar o quão homogêneo ou heterogêneo tem sido o enfrentamento nos estados e Distrito federal com relação ao isolamento social. A cor da face representa a média de todo o tempo gasto nas diferentes localidades comparada à media nacional. A legenda comparativa abaixo ilustra como cada item é representado segundo está abaixo ou acima da media nacional.

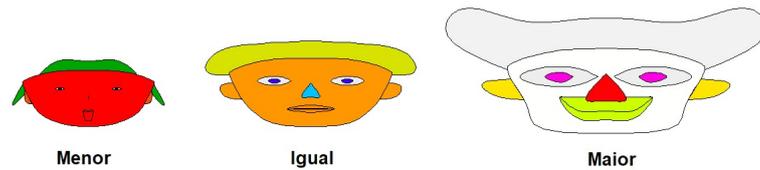


Figura 8: Legendas comparativas para cada característica (item de isolamento).

A figura a seguir mostra as faces de Chernoff para cada unidade da federação e o país como um todo para dois períodos: média dos dados de 16 a 23 de abril e de 16 a 23 de junho, e medem os desvios com relação à média do mês de fevereiro.

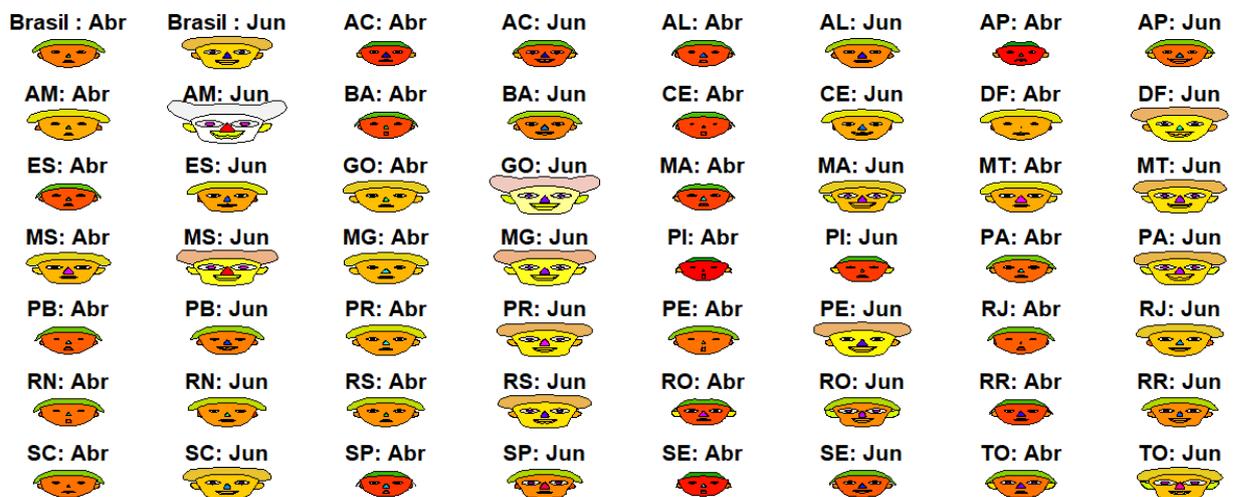


Figura 9: Faces de Chernoff para as diferentes componentes do isolamento social em cada estado e no Distrito Federal.

É possível observar as semelhanças de comportamento com relação aos índices de mobilidade para alguns estados, como o Amapá, Piauí e Sergipe. Por outro lado, nota-se também, o quão distintos são esses comportamentos com relação ao Mato Grosso do Sul, Goiás, Amazonas e Distrito Federal, que possuem níveis de isolamento inferiores à média nacional. De modo geral, o isolamento piorou em todos os locais, e de forma mais acentuada em alguns, destacando-se o Amazonas. Essa redução generalizada evidencia uma dificuldade de manter a medida mais eficiente contra a pandemia de COVID-19, o isolamento social, agravado ainda mais pelo fato que o número de reprodução básico R_t ainda é claramente maior do que 1 em vários estados e capitais [14].

Referências

- [1] R. Verity, L. Okell, I. Dorigatti, P. Winskill, C. Whittaker C, et al. *Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: A model-based analysis*. Lancet Infectious Diseases (2020) <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/populacao/>
- [2] T. Zhou, Q. Liu, Z. Yang, J. Liao, K. Yang, W. Bai, X. Lu, W. Zhang, *Preliminary prediction of the basic reproduction number of the Wuhan novel coronavirus 2019-nCoV*. Journal of Evidence Based Medicine (2020). DOI: 10.1111/jebm.12376.
- [3] Wang C, Hornby PW, Hayden FG, Gao GF. *A novel coronavirus outbreak of global health concern*. Lancet (2020) 395, 470. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30185-9.
- [4] The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. *The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19) — China, 2020*. CCDC Weekly (2020) 2(x): 1.
- [5] Linton NM, Kobayashi T, Yang Y, Hayashi K, Akhmetzhanov AR, Jung S, Yuan B, Kinoshita R, Nishiura H, *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.
- [6] R. Li, S. Pei, B. Chen, Y. Song, T. Zhang, W. Yang, J. Shaman Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2). Science (2020) DOI:10.1126/science.abb3221.
- [7] T. M. Rocha Filho, F. S. G. Santos, V. B. Gomes, T. A. H. Rocha, J. H. R. Croda, W. M. Rammalho, W. N. Araujo, *Expected impact of COVID-19 outbreak in a major metropolitan area in Brazil*. MedRxiv <https://doi.org/10.1101/2020.03.14.20035873>.
- [8] *Severe Outcomes Among Patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) — United States, February 12–March 16, 2020*, Morbidity and Mortality Weekly Report, CDC-USA, March 18, 2020.
- [9] T. W. Russell et al. *Estimating the infection and case fatality ratio for COVID-19 using age-adjusted data from the outbreak on the Diamond Princess cruise ship*. MedRxiv doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.05.20031773>.
- [10] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/populacao/>
- [11] https://www.gstatic.com/covid19/mobility/2020-05-25_BR_Mobility_Report_en.pdf
- [12] H. Chernoff, *The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically*. Journal of the American Statistical Association (1973) **68** (342), 361-368.
- [13] C. Fraser, *Estimating Individual and Household Reproduction Numbers in an Emerging Epidemic*. PLoS ONE (2007) 2(8): e758. doi:10.1371/journal.pone.0000758.
- [14] Murari TB, Nascimento Filho AS, Rocha Filho TM, Scorza CA, Scorza FA, Almeida ACG, Moret MA, *RE: Evidences of reduction in SARS-COV-2 transmission due to local measures and policies in early stages of the pandemic*. Science (E-letter, 23 June 2020).