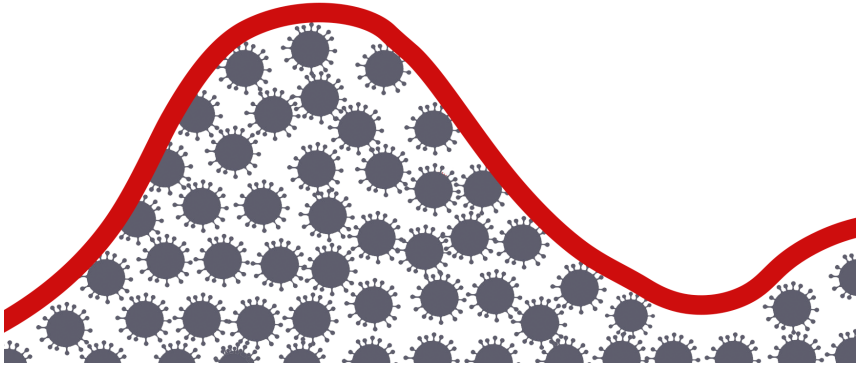
Economia e Energia

Nº 106
Janeiro a Junho de 2020 Ano XXIII

Coronavírus



Acompanhamento Covid 19

Abordagem Logística da Propagação do Novo Coronavirus

A Dispersão do Covid 19 Depende da Latitude Geográfica?

Economia e Energia
Revista

Rio: Av. Rio Branco, 123 Sala 1308 Centro CEP 20040-005
Rio de Janeiro RJ Tel (21) 2222-4816

Internet :http://ecen.com.br

Editor Gráfico: Marcos Alvim

Economia e Energia – http://ecen.com.br

Nº 106, janeiro a junho de 2020
ISSN 1518-2932 Disponível em: http://eee.org.br e (números anteriores) http://ecen.com

Palavra do Editor

Razões para a divulgação do Acompanhamento da Evolução da COVID 19 no Brasil

A utilidade de um conhecimento científico é diretamente proporcional à sua capacidade de previsão. Se ele se revela capaz de modificá-lo, passa a ser imprescindível.

Nesse sentido, o que se espera do estudo de um fenômeno em evolução é que contribua para que se deixe de navegar na escuridão ou, “às cegas” como se queixava o Ministro Teich em sua breve passagem pelo comando do Ministério da Saúde.

Realizar previsões quantitativas de curto e médio prazos constitue uma tarefa delicada, sobretudo quando envolvem vidas humanas. O modelo aqui adotado procura deduzir, a partir do comportamento passado, o que se deve esperar para o futuro.

Existe um enorme volume de dados sobre a progressão da presente pandemia. Certamente, é o maior e mais atualizado acervo que jamais existiu sobre uma doença, em menos de um ano de evolução.

Os dados do passado, mesmo constantemente atualizados, não fornecem por si sós a projeção de seu comportamento futuro; é necessário um modelo para extrair

deles uma tendência. Por isso, é oportuno e necessário divulgar resultados parciais das projeções na esperança de que eles possam trazer pequena luz na escuridão presente.

Na realidade, como não se sabe o comportamento que será adotado por governos e cidadãos quanto ao isolamento social, nenhum modelo pode dar uma ideia precisa do que acontecerá em cada local. Além disto, existem muitas questões abertas sobre o próprio comportamento do vírus em diferentes ambientes. O que a metodologia aqui utilizada realmente fornece é uma ideia para onde estamos indo. Para onde realmente vamos é uma conjuntura da qual todos somos protagonistas, conscientes ou não disso.

A modelagem é também indispensável para interpretar os casos onde sua aplicação parece não funcionar. Ela indica a presença de “anormalidades” aparentes, que são oportunidades de avançar o conhecimento do modelo e modifica-lo. Uma oportunidade já revelada pelo estudo é a aparente dependência da latitude geográfica no espalhamento do vírus, em nossas unidades federadas.

Já apresentamos aqui uma versão preliminar, dos resultados comentados para o Rio de Janeiro. Agora apresentamos a evolução e projeção dos mesmos dados disponíveis para o Brasil, para as 5 Macrorregiões e para alguns estados. Nosso objetivo é irmos aprofundando e corrigindo dados e observações ao longo da pandemia. Estamos naturalmente abertos a colaborações externas e ao debate.

Carlos Feu Alvim

Sumário

Razões para a divulgação do Acompanhamento da Evolução da COVID 19 no Brasil ***1***

COVID 19 ..... ***4***

ABORDAGEM LOGÍSTICA DA PROPAGAÇÃO DO NOVO CORONAVIRUS ***4***

Resumo da Metodologia ***4***

Aplicação da metodologia aos números do Estado do Rio de Janeiro ***7***

Comparação do desenvolvimento da COVID 19 por Macrorregiões do Brasil ***26***

Projeções do Desenvolvimento da COVID 19 por Macrorregiões do Brasil ***31***

Aplicação da metodologia aos números do Brasil ***55***

Comparação dos Estados do Sudeste ***62***

A Dispersão do Covid 19 Depende da Latitude Geográfica? ...***70***

Texto em discussão:

COVID 19

ABORDAGEM LOGÍSTICA DA PROPAGAÇÃO DO NOVO CORONAVIRUS

Carlos Feu Alvim, Olga Mafra e José Israel Vargas

Resumo da Metodologia

O tratamento logístico foi aplicado por Cesare Marchetti[1] a inúmeros sistemas sociais, econômicos e tecnológicos, inclusive à peste de Londres no século XVII. No Brasil, o professor José Israel Vargas o aplicou também a diversas situações, com ênfase em casos brasileiros.

Nestas mesmas publicações da E&E, já aplicamos esse ajuste várias vezes para e o assunto já foi tratado no número zero dessa revista,[2] em artigo de Omar Campos Ferreira. Uma visão completa sobre a metodologia está no exemplar de número 45 da E&E, em artigo de José Israel Vargas intitulado "Prospectiva Tecnológica, Previsão com um Simples Modelo Matemático"[3].

[1] Cesare Marchetti. *Society as a learning system*. Technological Forecasting and Social Change, 18:267-282, 1980

[2] https://ecen.com/eee0/eeezero.pdf

[3] http://w.ecen.com/eee45/eee45p/prospeccao_tecnologica.htm

A metodologia, que nasceu da abordagem analítica de V. Volterra e Lotka da competição biológica entre seres vivos, em nichos ecológicos, pode ser aplicada à Covid 19, que está se colocando como a maior pandemia desde a gripe espanhola ocorrida há praticamente um século (1918 a 1920).

Fundamentalmente, essa metodologia se baseia em um modelo no qual a taxa de infeção em uma dada população depende do número de infectados, N, e do número dos que restam a infectar (N* - N), sendo N* o número final de atingidos, denominado de nicho. Matematicamente isso se traduz numa equação na qual, ao longo do tempo o número de contaminados será proporcional ao produto de um termo que cresce com N (a.N) e o outro decresce (N*-N).

$$T = dN/dt = a.N.(N^* - N) \text{ ou}$$

$$T = a.N^*.N - a.N^2 \qquad (1)$$

Onde dN/dt pode ser associado ao número de novos infectados (variação de N) por unidade de tempo t (tomada aqui como um dia). É fácil mostrar[4] que o valor máximo da taxa de contaminações acontecerá quando N = N*/2. Na relação (1) reconhecemos a equação de uma curva de segundo grau do tipo

$$[y = a_1.x - a_2.x^2],$$

mais precisamente, uma parábola. Um ajuste, pelo método de mínimos quadrados, nos permite estimar o número final de infectados N*; ao atingir metade desse nicho estaremos no máximo de contaminações por dia.

Supondo que o número de óbitos seja uma fração fixa do número de atingidos, o mesmo tipo de equação pode ser usado nos dois casos, tomando dados parciais disponíveis para estimar

[4] O máximo da função e o ponto em que a dT/dn é igual a zero ou [a.N* - 2.a N = 0] e N = N*/2

a quantidade de infeções ou de óbitos finais[5]. Como o número de óbitos tende a ser mais bem avaliado procuramos nos concentrar aqui nesses dados.

Um problema prático que encontraremos é que as políticas de distanciamento social reduzem o tamanho deste nicho. Se a política de distanciamento é mudada o nicho também muda de tamanho. Ademais, no caso do Brasil que tem dimensões continentais, é que a epidemia vai se difundindo aos poucos pelo País e alcança cada município e até cada bairro em diferentes datas. Outro problema prático é a necessidade de uma população relativamente grande para que o tratamento estatístico faça sentido. Nossa escolha foi tratar os dados em três níveis: país, região e estados.

A equação diferencial (1) foi usada diretamente para determinar N* e ela é uma função de N. O objetivo aqui é determinar o comportamento de N (infectados ou óbitos) em função do tempo e, para isso necessitamos resolver a equação diferencial (1) resultando a equação:

$$F = N/N^* = 1/(1+ e^{(-at-b)}) \qquad (2)$$

Onde F é a fração do “nicho” ocupado e a função encontrada é da chamada curva em S, denominada de curva logística.

Tomando-se o logaritmo neperiano da equação encontra-se

$$Ln(F/(1-F)) = a.t + b \qquad (3)$$

Essa equação facilita estimar os coeficientes **a** e **b** da função logística, ajustando uma reta nos valores de Ln(F/(1-F)).

[5] Espera-se algum retardo temporal.

Aplicação da metodologia aos números do Estado do Rio de Janeiro

Os dados, fornecidos pelo MS - Ministério da Saúde, para o Rio de Janeiro são aqui apresentados como exemplo de aplicação da metodologia. Eles se referem ao número de pessoas infectadas e no de óbitos registrados, em consequência da Covid 19. Como já mencionamos, preferimos concentrar a análise nos dados de óbitos, não obstante o retardo implícito das ocorrências e seu registro em relação à data de contaminação.

O método para projeção da trajetória dos óbitos a partir dos dados existentes passa por três etapas:

1) Correção da "Semanalidade"

Os dados divulgados pelo MS apresentam uma variação cíclica semanal. Dados para outros países divulgados pela OMS também apresentam essa oscilação, simplesmente devida à redução do ritmo de registro dos dados no final de semana.

A Figura 1 ilustra essa variação nos dados de óbitos registrados para o Estado do Rio de Janeiro atribuídos à Covid 19. Devido ao retardo normalmente existente na divulgação, os menores valores se concentram no domingo e na segunda feira. Segue-se um processo de recuperação nos dias seguintes até a próxima queda semanal.

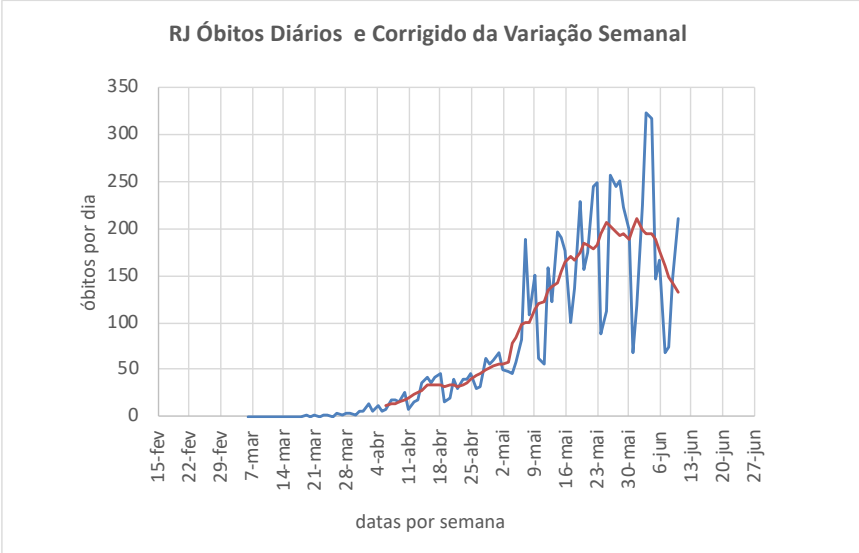


Figura 1: Comportamento dos óbitos no Estado do Rio de Janeiro, mostrando as oscilações semanais, é de domingo a data que assinala o início das semanas no eixo horizontal.

A correção da "semanalidade" é feita, como mostra a Figura 1, simplesmente tomando a média móvel centrada de 7 dias. Para os três últimos dados, para os quais não existem suficientes dados posteriores, é feita uma correção que considera o comportamento de uma ou mais semanas anteriores.

A Figura 2 mostra a regularidade em que se baseia essa correção[6]. Ela registra os dados relativos ao valor da média

[6] Pode-se usar também a média dos últimos sete dias, mas esse procedimento introduz um atraso sistemático na alocação dos dados que se quis evitar com a adoção da média móvel centrada. Isto introduz, por exemplo dificuldades para a comparação com

móvel centrada de 7 dias. A “semanalidade” é ilustrada para a Região Sudeste onde ela é mais nítida.

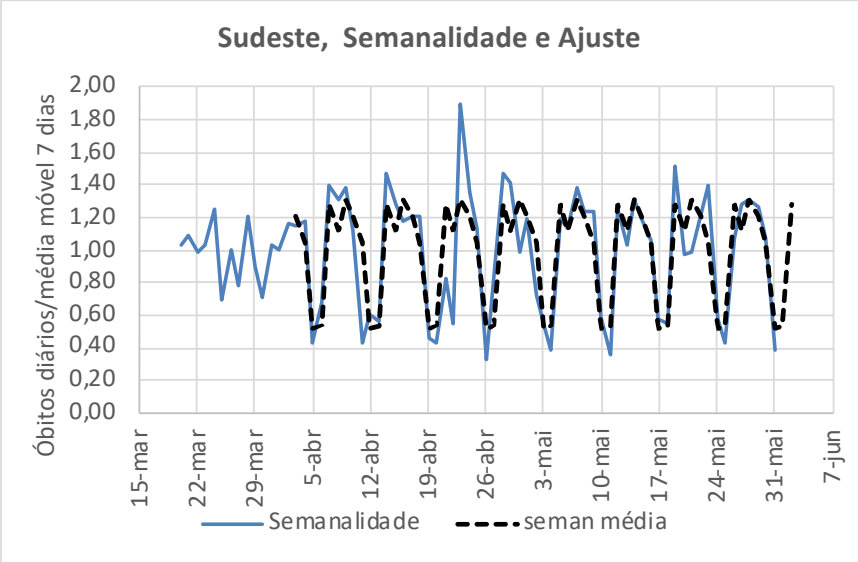


Figura 2: Variação, em torno da média móvel centrada (7 dias), observada nos óbitos diários na região Sudeste e a de ajuste.

2) Determinação do Nicho

Os dados “dessemanalizados” são utilizados, na primeira etapa de ajuste (da função parabólica), para determinar o “nicho” N*, a ser usado, em seguida, para o ajuste (via mínimos quadrados) da função logística. Sem a correção de “semanalidade”, o processo de estimação do nicho sofre muita influência dos últimos dados disponíveis.

Conforme realçamos, espera-se que o comportamento dos óbitos diários, representado em função dos óbitos

os dados acumulados onde a correção da “semanalidade” é irrelevante.

acumulados, possa ser descrito por uma parábola usada para determinar, por um ajuste por mínimos quadrados, as constantes a_1 e a_2 (Figura 3). Os dados nela mostrados já contêm a correção de "semanalidade" que torna o ajuste mais confiável para a determinação do "nicho".

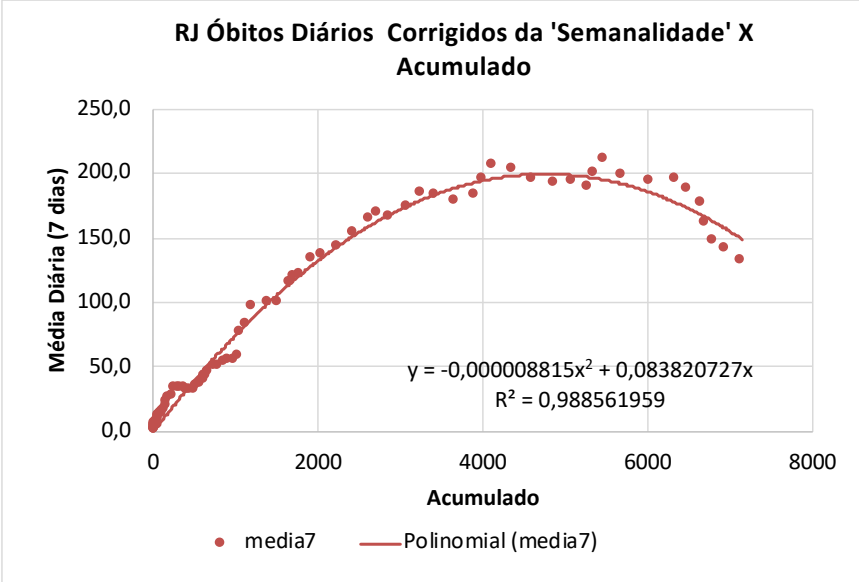


Figura 3: Ajuste de um polinômio de segundo grau aos registros de óbitos, atribuídos à Covid 19, no Rio de Janeiro

O ajuste determina os coeficientes indicados abaixo, calculados automaticamente a partir dos dados do Ministério da Saúde.

a2	-8,87E-06	9.476	NICHO
a1	0,084055	4.738	

O valor dos óbitos diários, representado na Figura 3 em função do valor acumulado, passa por um máximo quando o N atingir a metade do valor total esperado, denominado como

"nicho" N*. Esse valor constitue a previsão dos óbitos (cerca de 9.500) no Estado até o final do processo. Este nicho depende logicamente da manutenção das condições de controle adotadas.

3) Projeção inercial dos óbitos

O próximo passo, é realizar o ajuste da curva em S, denominada curva logística, com a qual procuramos projetar o restante da trajetória, baseada no comportamento passado.

Essa projeção é feita avaliando-se a fração do nicho N* ocupado F=N/N* e ajustando uma reta a partir dos dados de Ln(F/(1-F)) em função do tempo e determinando os coeficientes "a" e "b" da equação (3). A Figura 4 mostra o ajuste até 01 de junho de 2020, também para o Rio de Janeiro.

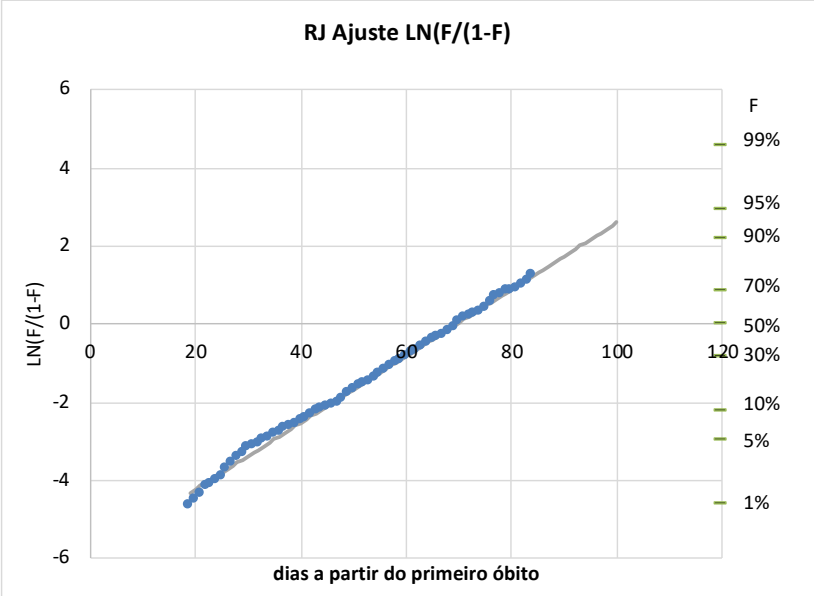


Figura 4: Procedimento de ajuste de função logística, parâmetros abaixo, a escala da direita representa os valores correspondentes de F.

a	0,085461			
b	-5,94285		r2	0,961623959
-b/a	70	dias até atingir o pico, a partir do primeiro óbito		
Delta t	51	dias, tempo entre atingir 10% a 90% do nicho		

Como vimos, o modelo faz uma mudança de variável para que a representação seja linear do tipo y = a.t + b, esses parâmetros estão indicados abaixo do gráfico, assim como o coeficiente R2 de correlação (melhor quando mais próximo de 1). Também é indicada a avaliação do tempo para atingir o pico que se espera coincidir com o valor cumulativo de 50% do nicho. Este valor, avaliado por -b/a, é, no caso, 70 dias, e o tempo "delta" de 51 dias é o necessário para passar de 10% para 90% dos óbitos no ciclo.

Análise e Projeção para os dados do Rio de Janeiro

Obtido o comportamento da fração F(t) do "nicho" N*, ocupado ao longo do tempo t, os valores de N(t)=N*.F(t) fornecem uma projeção dos óbitos esperados em função do tempo, que é mostrada na Figura 5.

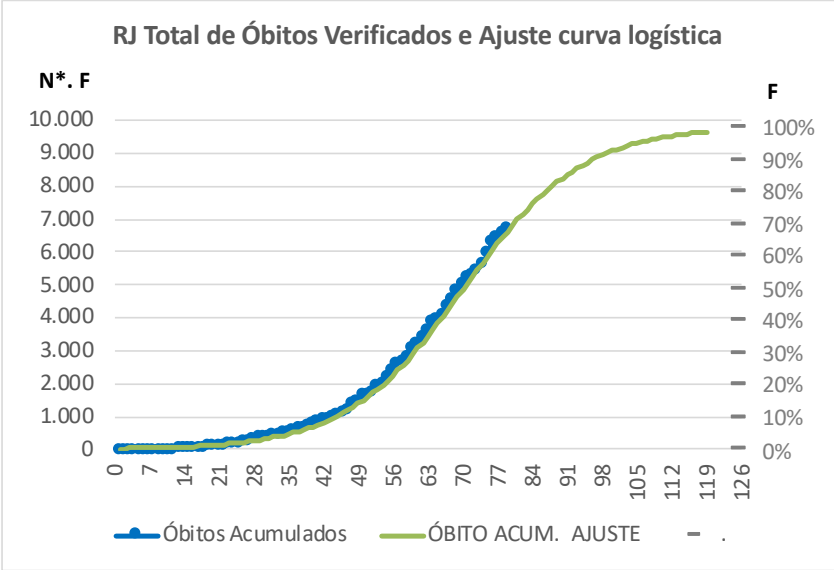


Figura 5: Óbitos verificados a partir da primeira morte pelo novo coronavírus no Estado do Rio de Janeiro.

O ajuste, mostrado na Figura 5 (óbitos acumulados), pode ser representada na forma diferencial (óbitos por dia) como na Figura 6. Em ambas as figuras, o tempo é mostrado a partir da ocorrência da primeira morte e a escala horizontal é dividida em espaço de 7 dias para que se tenha ideia da evolução por semana. De uma maneira geral, os ajustes foram feitos sem computar as duas semanas iniciais, muito dependentes da eficácia do isolamento e do histórico dos casos individuais.

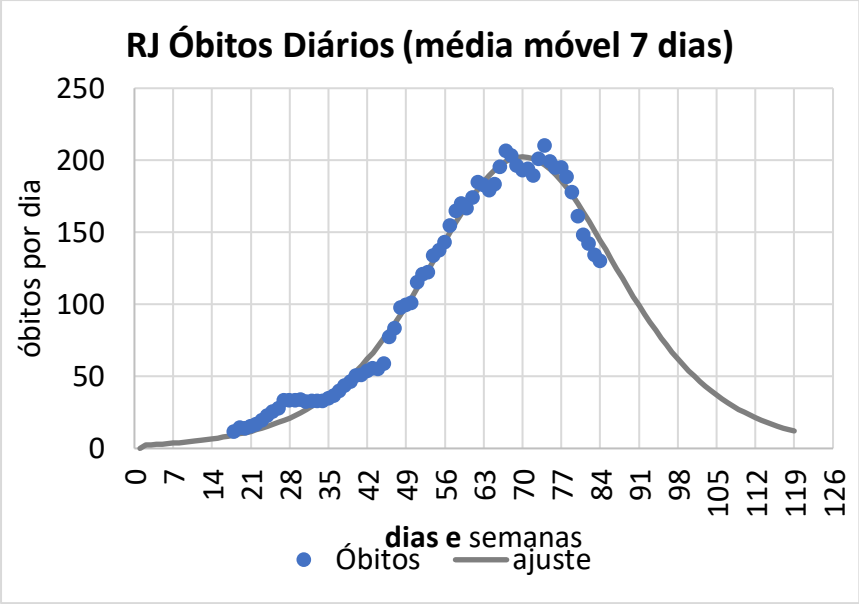


Figura 6: Representação dos óbitos diários e ajuste com os mesmos parâmetros das duas figuras anteriores.

Na Figura 6, foram representadas as médias móveis centradas para sete dias, que elimina as oscilações semanais no registro dos dados[7].

Em vários estados, pode-se observar uma mudança na tendência da curva que deve estar correlacionada com a redução de casos devida ao isolamento. Parece ser o caso do ocorrido no Estado do Rio de Janeiro (Figura 6) por volta do 28º dia que estaria refletindo uma mudança ocorrida cerca de duas semanas

[7] Naturalmente, os últimos três dados ainda estariam sujeitos às variações semanais porque a média é centrada (o próprio dia e três anteriores e três posteriores); assim nos três últimos dados é feita a correção da "semanalidade".

antes. Com efeito, no 10º, dia foram tomadas as primeiras providências para a implantar o distanciamento social que ficou conhecido como quarentena.

Na Figura 7, estão representados os óbitos por um milhão de habitantes, atribuídos à Covid 19 que facilitam a comparação com outros estados e outros países[8]. A Organização Mundial de Saúde - OMS também utiliza óbitos por milhão. A Figura 7 mostra a representação dos dados diários e a Figura 8 os dados acumulados. Em ambos os gráficos a curva de ajuste é também mostrada.

[8] O Ministério da Saúde - MS tem divulgados os dados por 100 mil habitantes. No caso, preferimos adotar as mortes por milhão de habitantes que favorecem a comparação diária e não dificultam a acumulada.

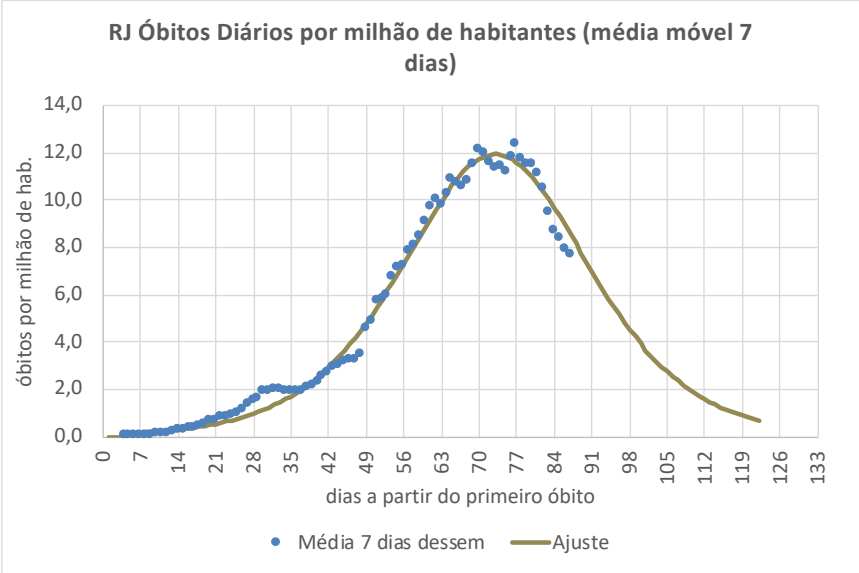


Figura 7: Óbitos diários por milhão de habitantes atribuídos à Covid 19

A boa notícia dessa avaliação é que os óbitos estão declinantes[9]. Mantido o isolamento, a tendência deveria ser uma queda simétrica a partir do máximo como supõe a curva ajustada, como parece estar acontecendo. Da experiência de outros países, a não ser daqueles que tomaram a decisão de uma política de erradicação dos casos, a curva de descida é mais alongada que a de subida. Esse alongamento da crise é atribuído ao relaxamento do controle que vai aumentando a contaminação e, em consequência, o número total de óbitos. Também existe um movimento de interiorização da pandemia que retarda os óbitos longe dos grandes centros, onde ela normalmente inicia. Isso contribui para o alargamento da curva.

[9] A posteriori, verificou-se um repique, em seguida, dominado.

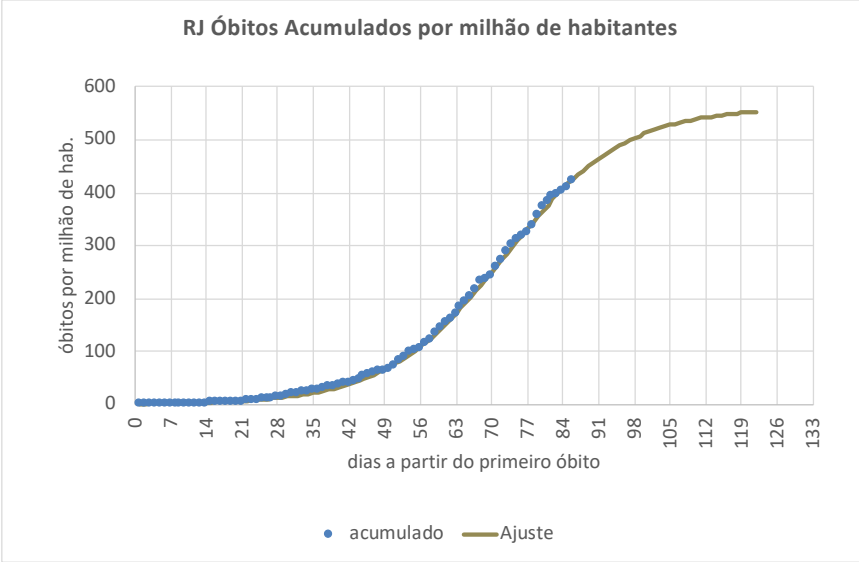


Figura 8: Óbitos acumulados por milhão de habitantes no Estado do Rio de Janeiro atribuídos à Covid 19; alguns parâmetros são indicados abaixo

Avaliação do Máximo	559	óbitos por milhão de hab.
Delta	51	dias entre 10% e 90% dos óbitos

A importância das projeções

A estimativa da trajetória futura é importante para orientar o processo de reabertura das atividades pós confinamento social. Obviamente, o ideal seria considerar uma amostragem da propagação que se desse em tempo real, o valor da população contaminada. Este é o dado crucial porque é de sua evolução (e da qualidade dos atendimentos médicos) que depende a ocorrência dos óbitos. Devidas as incertezas de dados sobre população infectada e a maior precisão dos dados de óbitos, opta-se em dar relevância a monitoração da pandemia pelos óbitos causados.

Como pode ser visto na Figura 9, em escala logarítmica, existe uma defasagem entre as contaminações detectadas e a ocorrência dos óbitos.

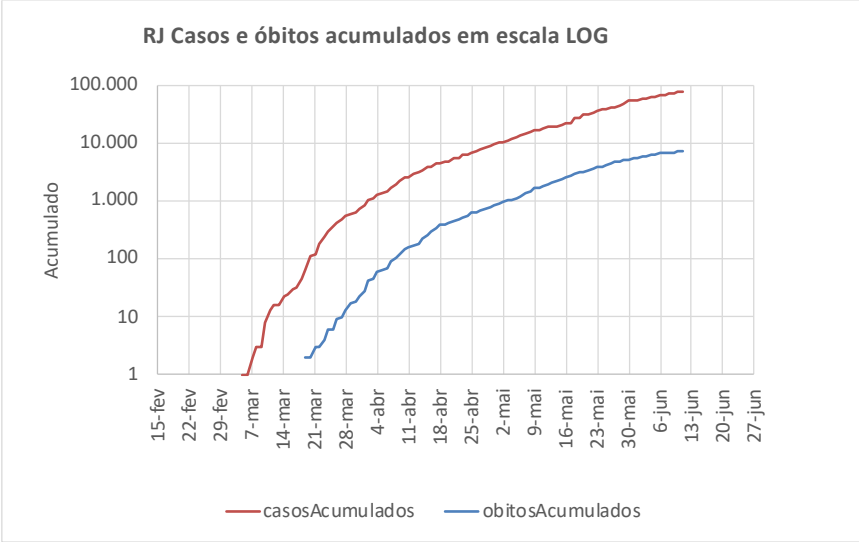


Figura 9: Evolução dos casos detectados e óbitos, para o Estado do Rio de Janeiro

Uso simultâneo das estatísticas de número de casos positivos e de óbitos

De uma maneira geral, a apuração para os diversos estados, mostra uma defasagem de aproximadamente duas semanas entre a primeira detecção da doença e o primeiro óbito. O aparente paralelismo, entre as curvas de casos e óbitos, reflete uma razão aproximadamente constante, a partir do meio de abril, entre o número de contaminações detectadas e os óbitos. A relação de óbitos e casos detectados é de cerca de 1 para 10, no Estado do Rio.

A Figura 10 mostra a evolução de casos e óbitos em relação ao valor observado em 31 de maio (valor = 100). Isso é feito para que os dois valores possam ser comparados em uma mesma escala.

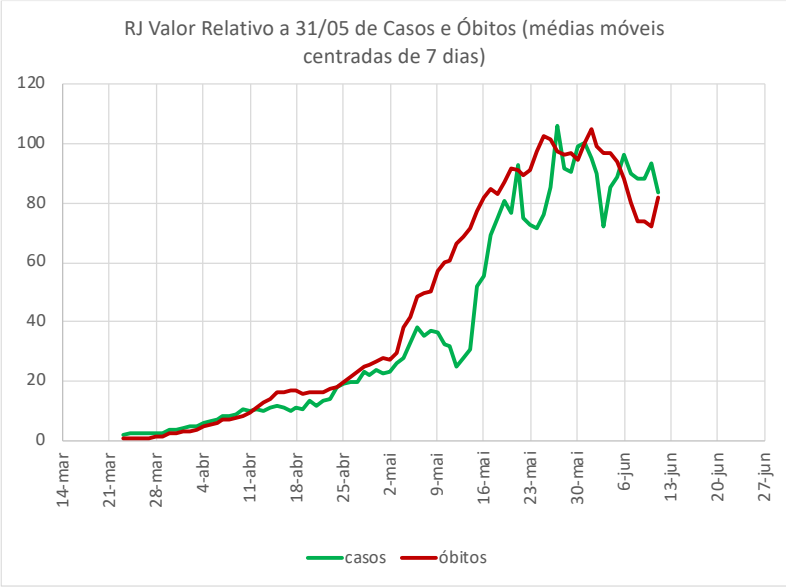


Figura 10: Valores de casos e óbitos diários da Covid 19 referidos aos valores do dia 31/05/2020

Obviamente espera-se que, se já passamos por um máximo que ele se dê primeiramente nos casos positivos de contaminação para ser, posteriormente, refletido nos óbitos. Os dados não chegam a estabelecer a certeza de que isso ocorreu. Outra maneira de estudar a relação entre as duas grandezas é apurar o número de mortes em relação ao número de casos. Isto é feito na Figura 11 tanto para os dados diários (médias centradas) como para os dados acumulados.

A letalidade representa, na versão acumulada, os óbitos **até a data em foco** divididos pelo número de casos acumulados até a mesma data. Esse seria o valor histórico médio da letalidade.

A outra forma de calcular a letalidade seria a divisão das mortes diárias (média móvel 7 dias) pelo número de novos casos (também média móvel) corresponderia a letalidade média semanal.

Nos dois casos, o indicador de letalidade é a razão entre o número de óbitos pelos casos registrados. No primeiro caso estamos calculando um número médio **até a data** e no segundo o valor **na referida data**.

Para o Estado do Rio de Janeiro, a razão óbitos/casos é mostrada na Figura 11.

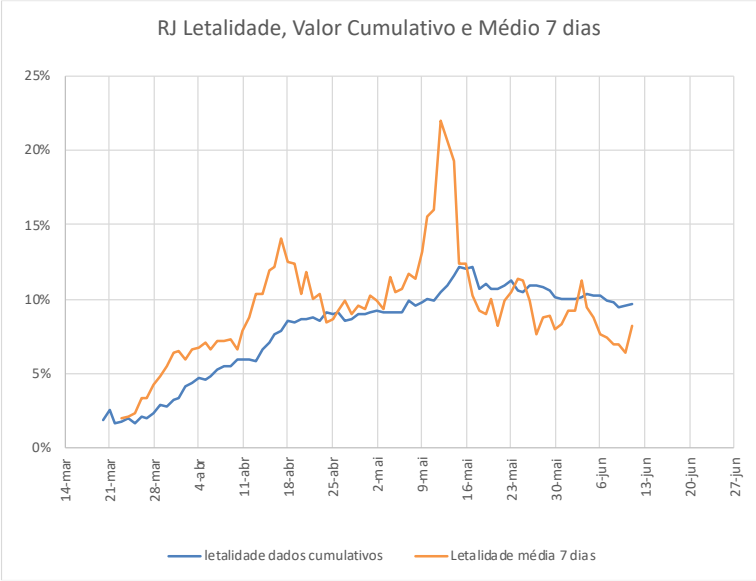


Figura 11: Letalidade (óbitos/casos) para dados acumulados e média móvel centrada (7 dias)

A ideia de utilizar a letalidade acumulada para estabelecer a passagem pelo máximo seria a de que, como o pico de casos deve preceder o de mortes; se o valor da razão óbitos/casos passar por um máximo e começar a declinar seria uma indicação de que teríamos superado o pior.

A análise do exemplo do RJ, revela o comportamento esperado do gráfico acumulado. No entanto, o exame de outros casos e a própria realidade mostrada na Figura 10 indicam que o método não é adequado porque não parece existir a esperada correspondência (com algum atraso nos óbitos) nas duas curvas.

A letalidade diária, pela média móvel, revelou grandes variações que poderiam indicar saturação do sistema hospitalar. No entanto, a Figura 10 esclarece que não foi isso o que ocorreu e sim um colapso na aplicação de testes. Os picos na razão óbitos/casos (Figura 11) correspondem a momentos de redução de casos (Figura 10) muito provavelmente por falha na testagem, já que não houve alteração no número de óbitos nem no presente nem no futuro. Ou seja, as grandes variações aparentes não foram causadas pela doença, mas pela medição. Enfim, a análise revela a pouca confiabilidade dos números apurados para a contaminação no Brasil que, logicamente, depende não só do número de testes realizados, mas da representatividade da amostragem.

Já o valor obtido a partir dos dados acumulados parece uma indicação mais confiável e útil, embora (ou talvez porque) os resultados sejam surpreendentes. Era de se esperar que a Região Sudeste, por ser mais rica, tivesse um maior número de testes aplicados per capita e, consequentemente maior detecção relativa de casos positivos que entram no denominador da fração óbitos/casos que é a letalidade. Isto não aconteceu e a Região é a que tem a maior letalidade comparada com as demais. Outro fator, que se supõe que seja superior na Região, seria o do melhor atendimento médico que deveria contribuir para reduzir a letalidade. O que se verifica é o contrário. Além disso e, isto

talvez não seja uma surpresa, **o Estado do Rio de Janeiro apresenta o pior desempenho da Região**. Na análise das regiões, comentaremos o mal desempenho da região SE.

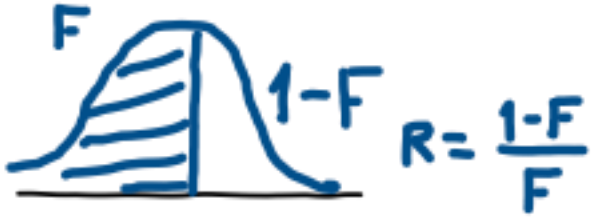
O Fator R

Para projetar a evolução de uma doença contagiosa, existem alguns parâmetros a serem considerados[10]. O primeiro, seria a capacidade de cada infectado em reproduzir a doença R, o segundo é o tempo entre a contaminação do indivíduo e a próxima contaminação por ele provocada que seria o intervalo serial SI entre uma geração e outra de doentes, o terceiro seria a letalidade que indica o percentual de pessoas atingidas pela doença que viria a falecer (razão caso/fatalidade CFR). Vimos que a letalidade está sendo estimada, no MS e aqui, pela razão entre casos detectados e óbitos que é, evidentemente, superestimada porque os casos detectados são apenas uma fração dos existentes. Essa fração, na maioria dos casos, não é conhecida e só pode ser determinada com uma boa amostragem obedecendo a critérios estatísticos que permitam deduzir o percentual da população contaminada com o mínimo atraso.

Um dos problemas da determinação do R é que ele depende da metodologia adotada e os parâmetros da equação que rege a transmissão da Covid 19 ainda estão sendo determinados e dependem do ambiente de propagação.

Dentro de nossa metodologia, podemos estimar o R de duas formas: O R integral (Ri) que estima o número de contágios que uma pessoa contaminada provocará até o final do processo. Em média, seria a fração dos não contaminados que serão atingidos por descendentes do vírus dos já contaminados.

[10] https://www.estadao.com.br/infograficos/saude,como-a-matematica-pode-ajudar-a-entender-e-combater-epidemias,1082298



Na metodologia aqui adotada, supondo uma proporcionalidade da razão, contaminados/óbitos, o número de contaminados é F.N* e o que ainda será contaminado (1-F).N*, temos então que a razão entre o número dos não contaminados (1-F) sobre os contaminados (F) será de Ri = (1-F. Enquanto tivermos Ri = 1, cada pessoa atingida contaminará uma outra até o final do processo. Se continuarmos com as mesmas restrições ao contato social que vigoraram até o momento focalizado, a tendência de Ri seria declinante. Se rompermos o isolamento gradualmente, mas mantendo R < 1, o número de casos será reduzido à medida que passe o tempo, embora o total seja maior que o inicialmente previsto mantendo a quarentena.

Vários países estão fazendo o controle estatístico da evolução da doença. No Brasil, a aplicação estatisticamente planejada ainda é insuficiente para ser usada como controle na maioria das UF. É bom lembrar, que não é questão de número de testes aplicados, mas de metodologia de aplicação e rapidez dos resultados.

O valor de Ri para o Rio de Janeiro seria obtido a partir da fração (F) de 65% dos óbitos totais esperados (Figura 4) e a que seria preenchida, consequentemente, de 35%. O valor de R seria 0,35/0,65 = 0,54 o que significa que cada portador do vírus estaria transmitindo a doença para 0,54 pessoas, em média, o que levaria a doença ao declínio mostrado na curva de ajuste.

A alternativa para a avaliação de R, aqui adotada, foi a de trabalhar com o valor dos óbitos de hoje em relação aos óbitos

ocorridos alguns dias atrás. Isto também admite que existe uma proporcionalidade entre os óbitos e o número de infectados e que está razão indicaria par quantos indivíduos cada contaminado está transmitindo sua doença. Adotamos, como a aproximação para o índice a relação entre a média móvel centrada no dia com a observada há sete dias[11] e chamamos esse fator R7. Como dispomos de um ajuste para os óbitos esperados, pode-se projetar o valor para a próxima semana. O acompanhamento é, por outro lado, uma maneira de monitorar se estaríamos cumprindo a trajetória esperada ou estamos fugindo dela. A Figura 12 mostra esta avaliação para o caso do Rio de Janeiro (valores de 03/07).

Sabemos que existe um retardo entre a detecção da contaminação e a ocorrência do óbito. Em um cenário de R declinante, esse parâmetro calculado para o número de óbitos é resultado do que ocorreu há uma ou duas semanas atrás, na contaminação e, se foi mantida a tendência a situação na contaminação seria melhor que a obtida. Resumidamente, a avaliação pelos óbitos tem um retardo de uma a duas semanas. Infelizmente, se houver uma recaída, o sinal só apareceria duas semanas depois.

A vantagem, por outro lado, é que o número de óbitos ocorridos é um indicador mais sólido e confiável. Ou seja, tomamos como R7 = [Óbitos do dia] / [Óbitos há 7 dias], usando a média móvel para óbitos diários. Em seguida, comparamos os valores com os esperados pelo ajuste para projetar a evolução dos óbitos. De qualquer forma, valores persistentes maiores que 1 e afastando-se das projeções indicam a probabilidade de um repique da doença. É o que pode estar acontecendo no Rio de

[11] O ideal seria adotar um retardo que correspondesse o intervalo serial SI que seria de cerca de 5 dias, como temos o problema da "semanalidade" dos dados o intervalo de 7 dias faria sentido mesmo quando não se estivesse lidando com médias móveis.

janeiro, embora a oscilação anterior de meados de junho não tenha progredido.

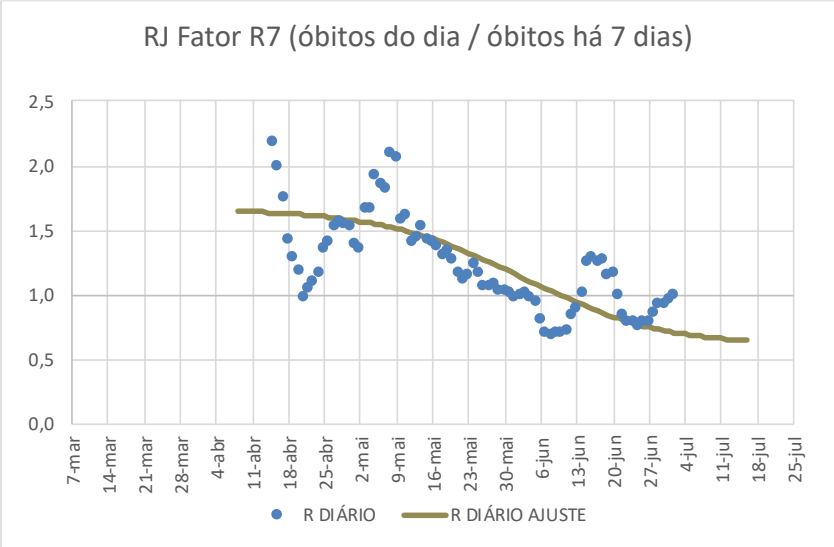


Figura 12: Valor de R7 correspondente aos óbitos do dia por óbitos de 7 dias atrás e valores projetados.

As autoridades sanitárias necessitariam, na verdade, de apurações rápidas que possibilitassem monitorar em tempo real o número de contaminados. Um fator de avaliação útil, que tem sido muito utilizada, é o número dos leitos ocupados e sua demanda. Esta é a avaliação mais contemporânea; já a de testes rápidos seria a melhor porque teria a capacidade de prever com mais segurança as necessidades e possibilidades futuras e providenciar uma mudança, em tempo, nas instruções de confinamento.

Comparação do desenvolvimento da COVID 19 por Macrorregiões do Brasil

Os dados do Ministério da Saúde permitem a comparação por macrorregiões, por Estado e até no nível municipal. A comparação entre as macrorregiões permite realçar algumas diferenças gerais importantes no desenvolvimento da doença. Para que a comparação entre regiões, como a entre países, faça sentido é necessário usar dados relativos à população. A unidade adotada foi óbitos por milhão de habitantes. Também é interessante, nas comparações da evolução da doença, levar em conta a data onde o processo se inicia que foi tomada, de modo geral, a partir do primeiro óbito.

Neste resumo, entretanto, adotamos a data de calendário[12], para facilitar a visão geral de como a pandemia vem evoluindo ao longo do tempo. Isto só não apresenta maiores inconvenientes, devido à rápida disseminação da doença que, como será visto, apresenta uma defasagem máxima de pouco mais de uma semana no início da disseminação em cada região[13]. Nessa comparação, os dados são representados em escala espaçada de 7 dias, para que se possa ter uma ideia das semanas transcorridas.

Comparação entre as Regiões

Na Figura 13, são apresentados os óbitos diários, atribuídos à Covid 19, por Macrorregião e “dessemanalizados”. São apresentadas curvas das cinco regiões, comparadas com a do Brasil. Sudeste e Nordeste, têm comportamentos parecidos;

[12] Dia e mês (ano 2010)

[13] Além disso, nem sempre o primeiro óbito é significativo já que, em muitos casos, tratava-se de um ou alguns doentes contaminados externamente e o processo de contaminação local teve retardo relativo ao primeiro caso.

o Norte apresenta um número de óbitos por habitante com um máximo maior e ascensão e queda mais rápidas. Sul e Centro Oeste, tiveram uma incidência relativamente baixa de óbitos, sendo que, no Centro-Oeste, só a partir de maio o efeito letal da pandemia passou a se fazer sentir com mais força; o mesmo pode estar acontecendo com o Sul.

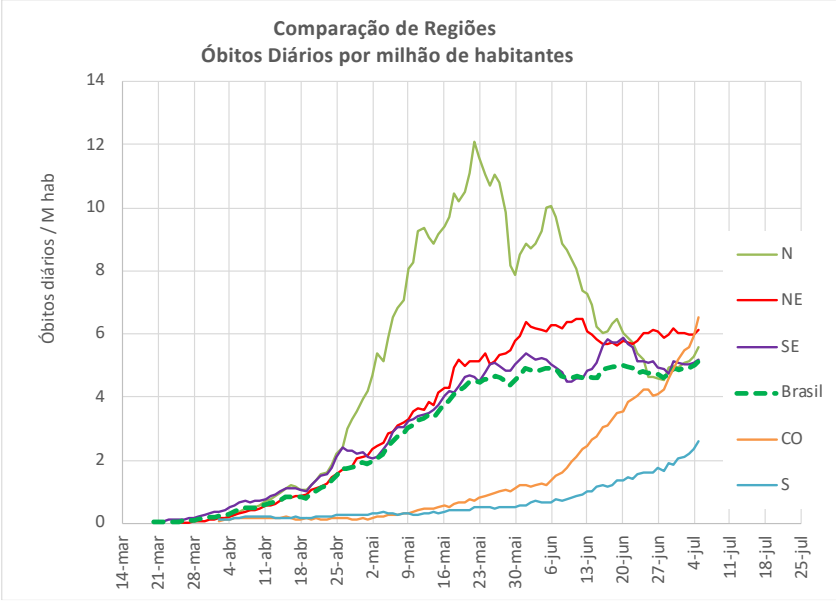


Figura 13: Evolução dos óbitos por milhão de habitantes nas cinco regiões e para todo o Brasil, dados até 05/07

Os dados acumulados são mostrados na Figura 14, também por milhão de habitantes. De uma maneira geral, ficam bem visíveis os três grupos das regiões acima nominados (N, SE-NE e CO-S). No entanto, a Região Centro-Oeste, em número de óbitos por milhão de habitantes, acaba de se igualar (05/07) ao máximo da Região Nordeste.

A velocidade expansão da curva parece indicar, para o CO, apenas uma defasagem do acontecido nas regiões SE e NE. Na Tabela 2, compara-se o intervalo de tempo para passar de 2 a 4 o número de óbitos por milhão e para passar de 4 para 6. Lembrar que a curva de crescimento tem uma fase inicial de rápida expansão (quase exponencial) e passa para uma fase de mudança de inclinação (quase linear) para depois tender para a estabilidade e cair. A Tabela 1 confirma essa fase quase linear de 2 a 6 óbitos por milhão de habitantes (M hab.).

Na Região Norte, os dois saltos de mortalidade aconteceram em apenas 5 dias, no Nordeste em 16 e no Centro-Oeste em 12 dias. No Sudeste, o primeiro salto ocorreu em 21 dias e não foi atingido o nível de 6 óbitos por M hab. Ou seja, o crescimento está sendo mais rápido que o do Nordeste em que ocorreram graves problemas de atendimento de pacientes.

Tabela 1: Intervalos de tempo de evolução da pandemia

Intervalo óbitos/hab. por dia	SE	NE	N	CO	S	BRA
2 para 4	21	16	5	12	-	16
4 para 6	-	16	5	12	-	-

Isto está acontecendo em um momento em que as autoridades do DF resolveram promover a abertura total das atividades econômicas. Como esse processo já está em curso, não existe tempo hábil para reverter a situação no que tange aos óbitos.

Um ponto importante a ser considerado é que, do ponto de vista de isolamento social, a situação fica mais difícil de controlar porque foi alimentada na população a falsa expectativa de que o pior havia passado.

Na Figura 14, pode-se acompanhar a evolução dos óbitos acumulados e a trajetória parece indicar que a Região

Centro Oeste segue a evolução que tende a aproximar-se da média do Brasil.

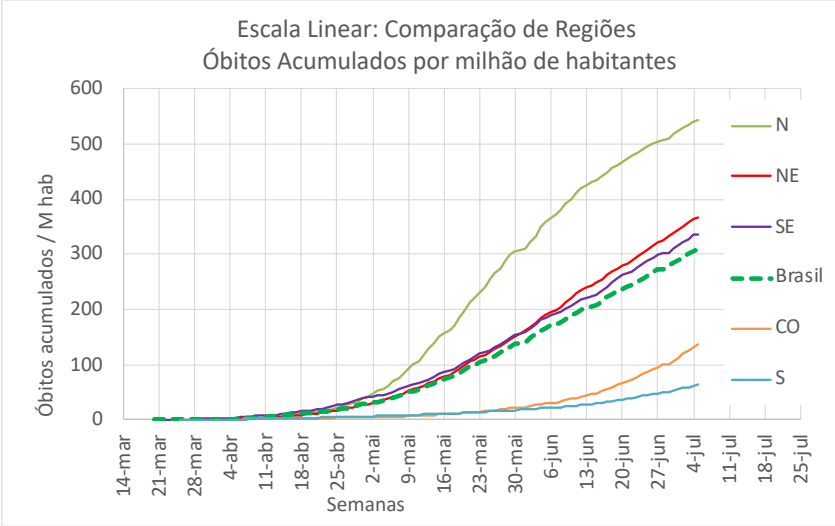


Figura 14: Comparação dos óbitos acumulados nas macrorregiões do Brasil por milhão de habitantes

De uma maneira geral, a ordem da intensidade de óbitos por região é praticamente a das latitudes, direção Norte/Sul. O mesmo pode ser visto em relação às Unidades da Federação em ensaio incluído nesta publicação.

Na Figura 15, os dados da figura anterior são mostrados em escala logarítmica, que permite perceber melhor a primeira fase da difusão da doença, inclusive a ordem de entrada na fase letal da pandemia[14]. A pandemia foi detectada primeiramente no

[14] Em algumas regiões o primeiro ou os primeiros óbitos se deram isoladamente por contaminação externa, antes que se

Sudeste, onde ocorreram também os primeiros óbitos, depois no Nordeste e Sul e dez dias depois já estava no Norte e Centro Oeste. No Norte, a doença teve o desenvolvimento mais rápido e, já em maio, a região havia superado as demais em óbitos por habitante.

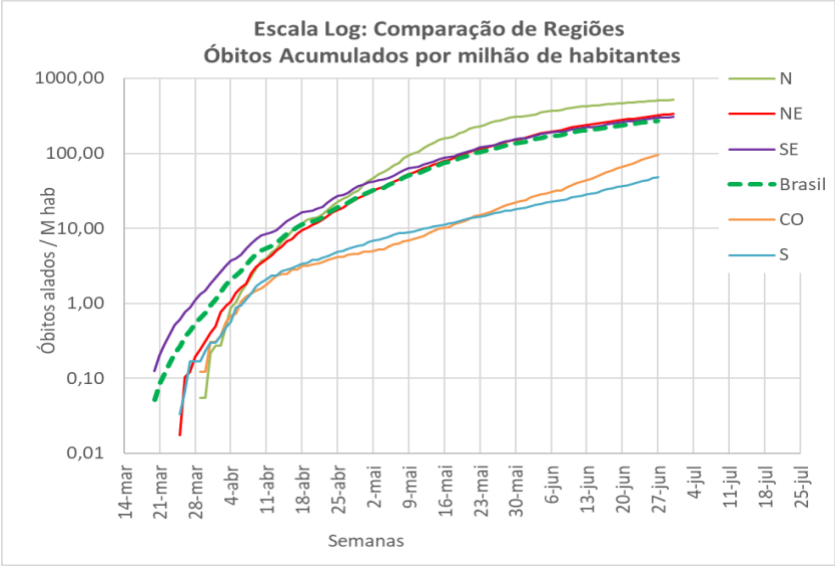


Figura 15: Comparação, escala logarítmica, dos óbitos ocorridos nas macrorregiões do Brasil por milhão de habitantes

Para que a análise dos dados seja de utilidade, é necessário fazer projeções que são apresentadas, a seguir, seguindo a metodologia anteriormente descrita.

iniciasse a progressão local da doença e não estão representados na Figura 14

Projeções do Desenvolvimento da COVID 19 por Macrorregiões do Brasil

A Tabela 2 adianta os resultados dos ajustes realizados. Para as regiões Centro Oeste e Sul, o processo de contaminação sofreu, por razões ainda não conhecidas, uma retenção na disseminação da doença. Acreditamos que razões climáticas, geográficas influam nisso. Deve-se considerar, é claro, que o comportamento da Covid 19 segue as diferenças na aplicação do isolamento, mas essa correlação não parece explicar tudo. No Centro-Oeste, há indicação de que o processo só se iniciou efetivamente a partir de maio e na Região Sul o número de óbitos relativos à população até junho de 2020 foi uma ordem de grandeza menor que a da média do Brasil.

Tabela 2: Principais parâmetros do ajuste óbitos /M hab.

Região	Delta 10% a 90%	Óbitos Totais	Melhor Ajuste	Data de Máximo	R Efetivo (R7)
	dias	Por Milhão hab.	Próximo a 1		Óbitos último dia/ /-7 dias
N	50	573	0,984	1-jun	1,23
NE	64	473	0,979	13-jun	1,05
SE	75	444	0,988	13-jun	1,06
CO	84	829	0,996	7-ago	1,54
S*	109	401	0,986	15-ago	1,58
Brasil	70	401	0,985	13-jun	1,12

Posição em 03/07/20; (*) adotado o nicho, em óbitos por milhão de habitantes, para o Brasil

Pela Tabela 2, pode-se ver que, embora o ajuste indique que as três primeiras regiões já teriam passado pelo máximo de óbitos em junho, os valores de R7 (maiores que um) não são tranquilizadores.

O Ajuste para a Região Sudeste

Para acompanhar os dados por Região, é melhor lidar diretamente com os números totais e não com os relativos à população.

Como já foi descrito, o ajuste inicia com a determinação do “nicho” que, no caso, seria a previsão de óbitos extrapolada a partir do comportamento verificado até a última data apurada

A Figura 16 mostra que o máximo dos óbitos diários (cerca de 500/dia) ocorreria para o acumulado de 20 mil óbitos que marcaria a metade do processo.

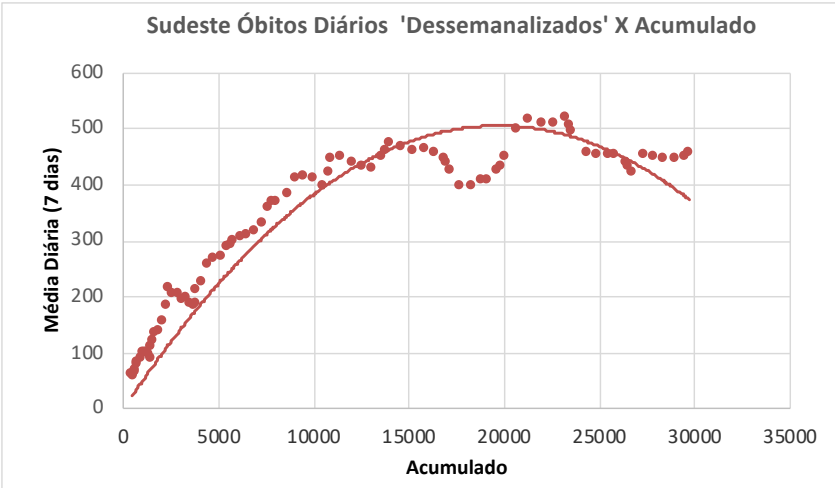


Figura 16: Gráfico usado para avaliar o "nicho" (total de óbitos)

a2	-1,32E-06	39.232	Nicho		R_2 = 0,908
a1	0,0516	19.626	N*/2	13/06/2020	dia do máximo

O ajuste indica que o pico da pandemia teria sido atingido no dia 13 junho e que o total de óbitos que ela provocaria na Região seria de 40 mil. Esta indicação se refere ao comportamento histórico. Obviamente, ao ser afrouxado o confinamento, pode haver uma retomada no processo e um aumento do "nicho".

A Figura 17 mostra os dados observados que apresentam um bom ajuste, consideradas a complexidade do processo e a tentativa da sociedade e governos de conter a livre disseminação da doença.

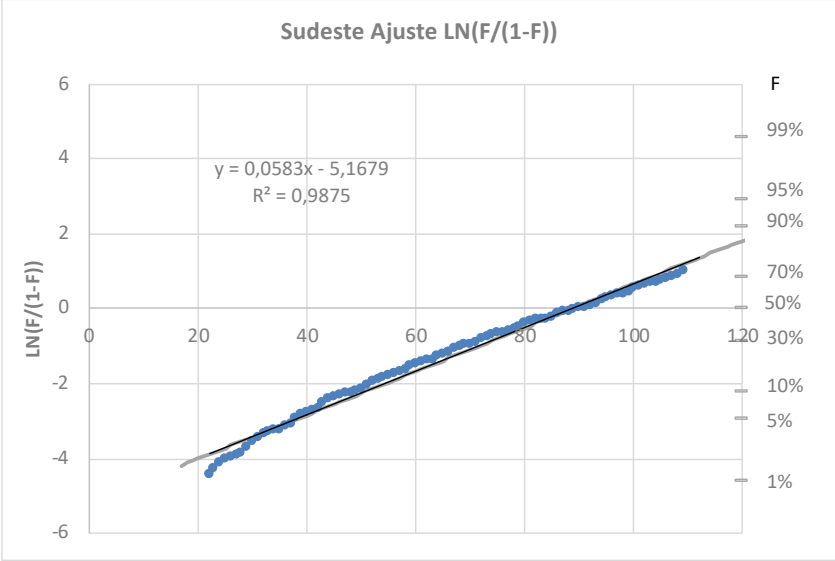


Figura 17: Sudeste Ajuste LN(F/(1-F)) = a.t + b, parâmetros indicados abaixo:

a	0,0583	
b	-5,15	R^2 0,988
-b/a	88	dias até atingir o pico, a partir do primeiro óbito
Delta	75	dias, tempo entre atingir 10% a 90% do nicho

A curva mostrada na Figura 18 é a chamada curva logística onde estão representados os óbitos acumulados. A projeção desse comportamento é o objetivo específico do tratamento estatístico aplicado e o resultado é bastante satisfatório. Vale mencionar, que a mesma equação já foi aplicada a vários casos que também envolvem ação e reação da sociedade, por exemplo, na aceitação de uma determinada tecnologia, como também a casos históricos de propagação de pandemias. São normais as ações e reações provocarem oscilação em torno de uma tendência, como, aliás, pode-se observar na Figura 18 onde pode ser constatado também o bom ajuste à função considerada.

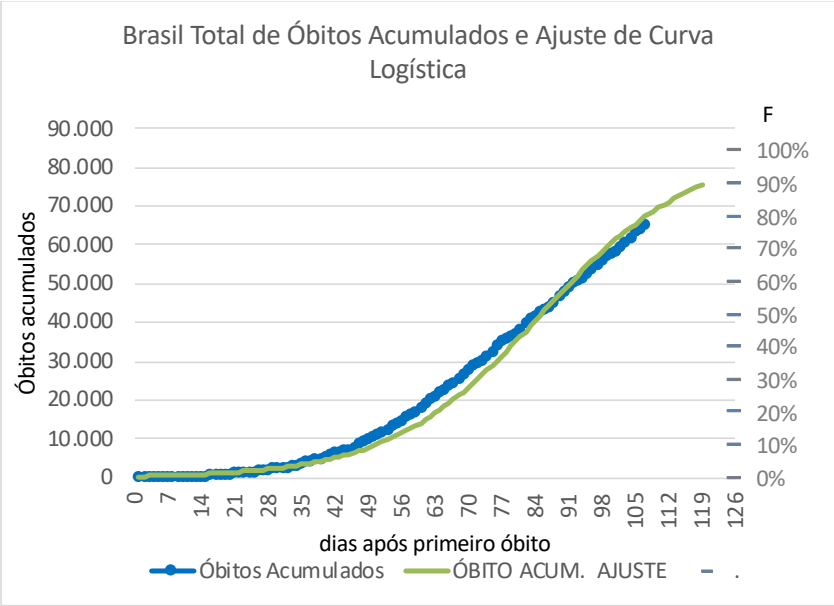


Figura 18: Comportamento dos óbitos na Região Sudoeste, comparado com o ajuste, a escala à direita indica a fração do "nicho"ocupada.

Resulta do mesmo ajuste a curva dos óbitos diários mostrada na Figura 19, comparada ao registrado (média móvel de 7 dias). Naturalmente estes dados refletem as oscilações ocorridas na dramática luta contra a doença, cujos êxitos e fracassos acabam no frio registro das estatísticas. Pode-se observar um achatamento da curva que é o objetivo maior da luta travada. Também parece natural que a sensação de que se passou pelo pior provoque algum afrouxamento que a própria reação social e também a das autoridades pode vir a corrigir.

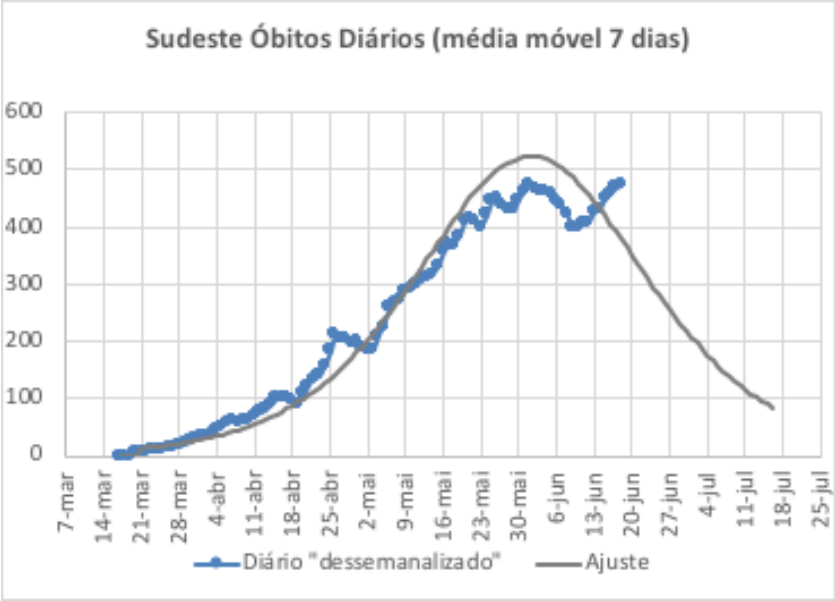


Figura 19: Curva diária de óbitos “dessemanalizados” comparada com a projeção

O Sudeste foi, desde o início, o epicentro da crise, tanto por ser onde os primeiros focos foram detectados, como por sediar as duas principais cidades do País, São Paulo e Rio de Janeiro. Ademais, é a região mais habitada, com 42% da população brasileira. Também reúne maior capacidade de

reação coordenada à epidemia, sobretudo em São Paulo. Isso faz a região mais propícia à interferência humana na condução do processo, tanto da área social como na econômica.

Na Figura 19, observa-se um preocupante desvio da curva de óbitos diários que pode assinalar uma retomada no ritmo de crescimento dos óbitos. Do ponto de vista da prevenção é de se esperar que providências sejam tomadas para que isto não aconteça. Comparando-se com o projetado na Figura 18, no entanto, o que se observa pode ser interpretado como um retorno à projeção original.

O fator R7 que dá uma ideia de quantas pessoas são infectadas por cada uma que adquire a doença foi estimado aqui através da razão entre os óbitos ocorridos no dia pelos óbitos ocorridos há sete dias. Isto é feito tomando-se médias móveis.

Para os que estão habituados com a linguagem matemática a curva da Figura19 representa a primeira derivada, relativa ao tempo, da curva da Figura 18. O fator R7 dá uma indicação da derivada no tempo da curva da Figura 19 e a derivada segunda da curva dezoito.

Em temos da descrição de um movimento, a primeira curva representa o trajeto percorrido, a segunda curva a velocidade e a do fator R7 dá uma indicação da aceleração do processo (corresponderia, na verdade, a R7-1). Ou seja, a primeira curva nos fornece os óbitos, a segunda os óbitos por unidade de tempo e a terceira quantifica o crescimento ou decréscimo da taxa de óbitos[15].

[15] Se R7 for igual a um (R7-1=0) o número de óbitos por dia fica estável, se for maior que 1 (R7-1>0) o número de óbitos por dia estaria aumentando e se R7 menor que 1 (R7-1<0) o número de óbitos por dia estaria decaindo.

A evolução de R7 para a Região Sudeste é mostrada na Figura 20 e, como era de se esperar, esta grandeza é ainda mais "nervosa" que a curva de óbitos por dia. Na situação presente o valor supera a 1 o que estaria indicando uma aceleração do processo.

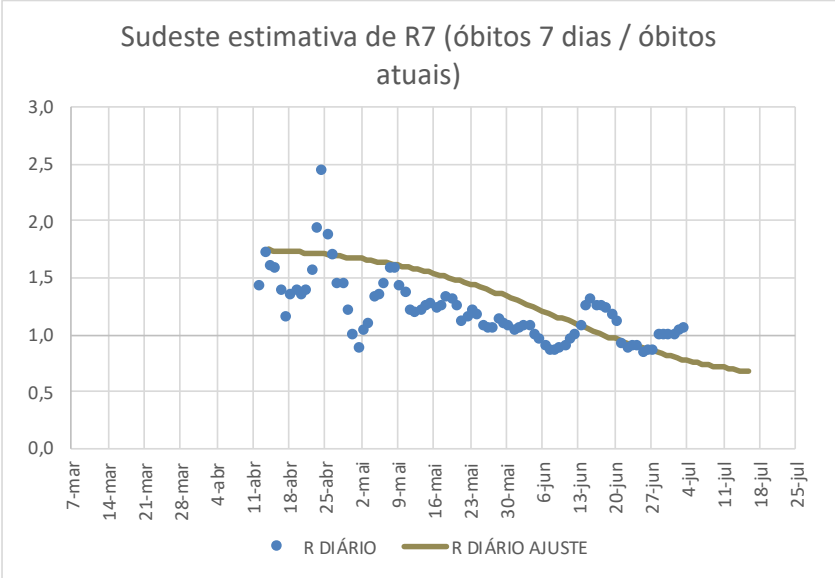


Figura 20: Fator R7 que acima de 1 indica uma tendência de aumento de óbitos por dia, observar que em meados de junho ele era bem superior à unidade e voltou à tendência, a nova subida pode ser uma oscilação como pode apontar uma piora.

A Região Nordeste

O ajuste para a avaliação do número de óbitos total na região Nordeste é mostrado na Figura 21

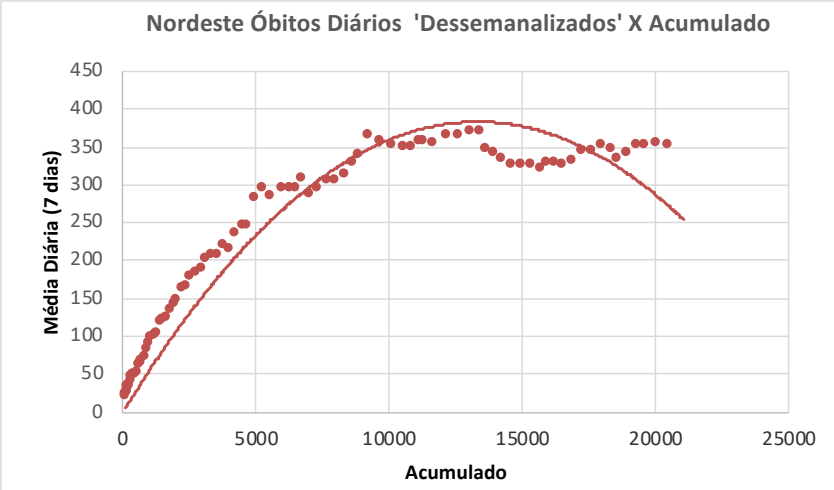


Figura 21: Gráfico usado para a avaliação do "nicho" fornecendo os parâmetros abaixo para a Região NE

a2	-2,11E-06	27.008	Nicho	R_2	0,932
a1	0,0570	13.504	N*/2	13/06/2020	dia do máximo

Em processo análogo ao descrito anteriormente, foram determinados os parâmetros da equação do ajuste Ln(F/(1-F)) mostrado na Figura 22.

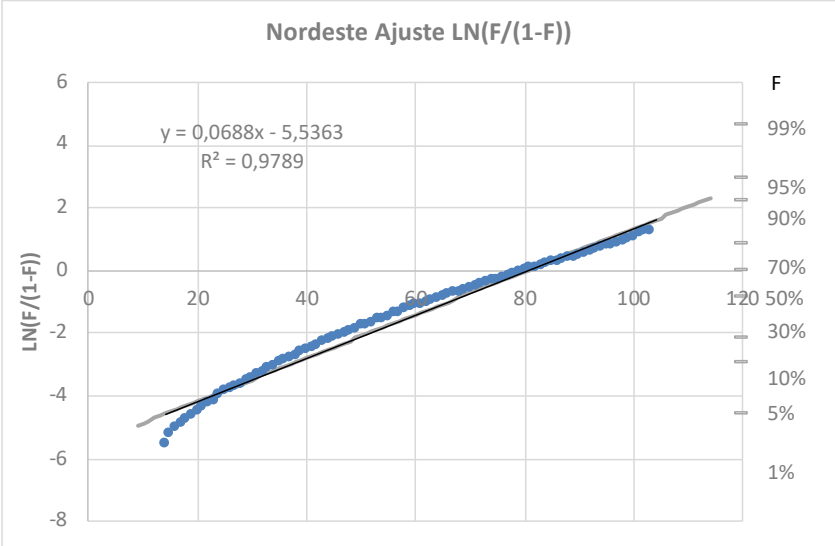


Figura 22: Comportamento dos óbitos na Região Nordeste, comparado com o ajuste

a	0,06877	
b	-5,5363	R^2 0,9789
-b/a	81	dias até atingir o pico, a partir do primeiro óbito
Delta	75	dias, tempo entre atingir 10% a 90% do nicho

A Região Nordeste experimentou uma sensível melhora em uma trajetória que se afigurava muito difícil, principalmente em PE e CE. Essa mudança é percebida no deslocamento em relação à trajetória inicial e resultou em um coeficiente de ajuste R2 baixo e uma situação menos grave que a que se poderia prever no início do processo. A Figura 24 reflete a mudança favorável na trajetória em relação ao quadro anteriormente previsto.

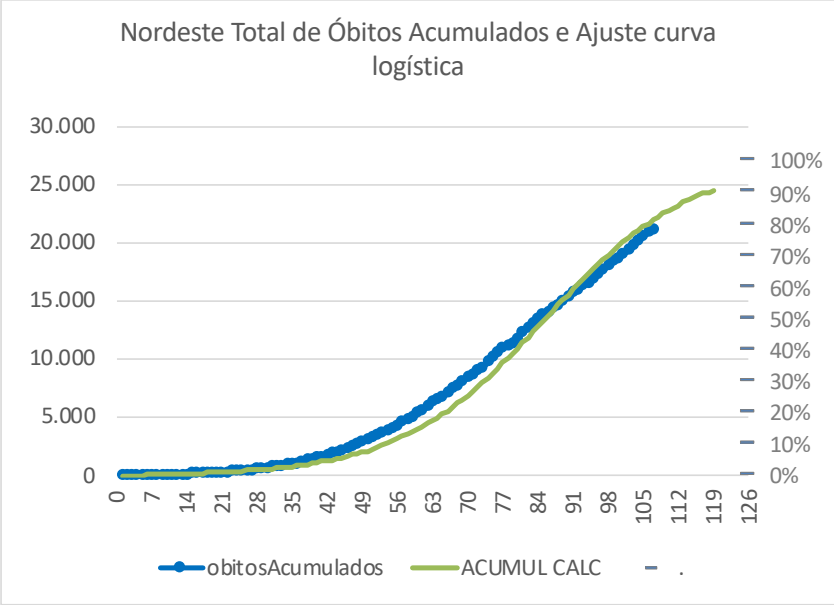


Figura 23: Evolução de óbitos no NE, com visível mudança de trajetória a partir da segunda metade de maio

Essa mudança fica mais clara ainda na Figura 24 onde o ajuste é comparado aos óbitos diários. Dos gráficos relativos aos estados (ainda não mostrados) pode-se ver que a forma da curva reflete o comportamento do processo nos diversos estados e a defasagem entre os processos.

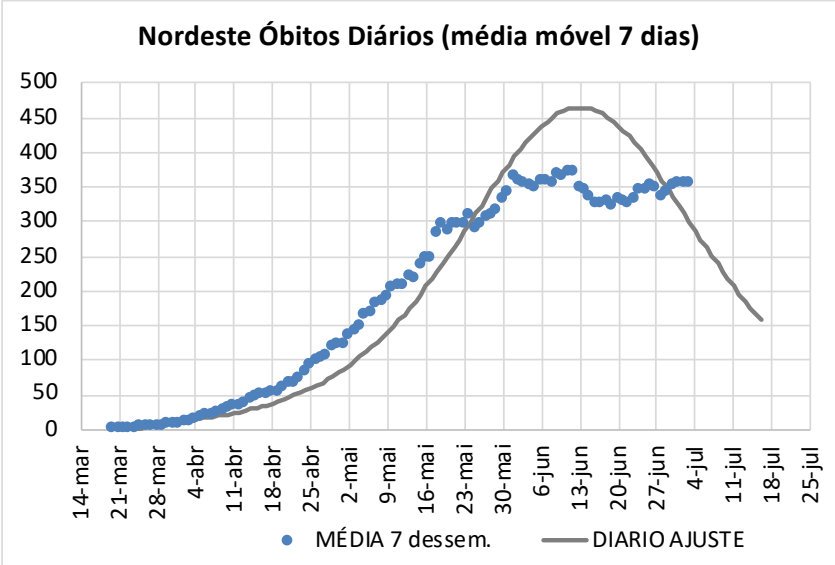


Figura 24: Curva diária de óbitos "dessemanalizados" comparada com a projeção.

Pode-se ver na Figura 24 que a curva da região Nordeste também foi "achatada" em relação à projeção. No início de junho, havia uma indicação de queda que não se confirmou. A não confirmação da queda esperada deixa em aberto a suspeita de uma nova onda de contaminações e os consequentes óbitos.

Esta inquietude é confirmada pelo fator R7 mostrado na Figura 25. Esse fator vinha decrescendo regularmente, mas se estabilizou a partir de 20 de junho e vem oscilando em torno de 1 desde então. Não é propriamente uma situação inquietante, mas merece cuidados.

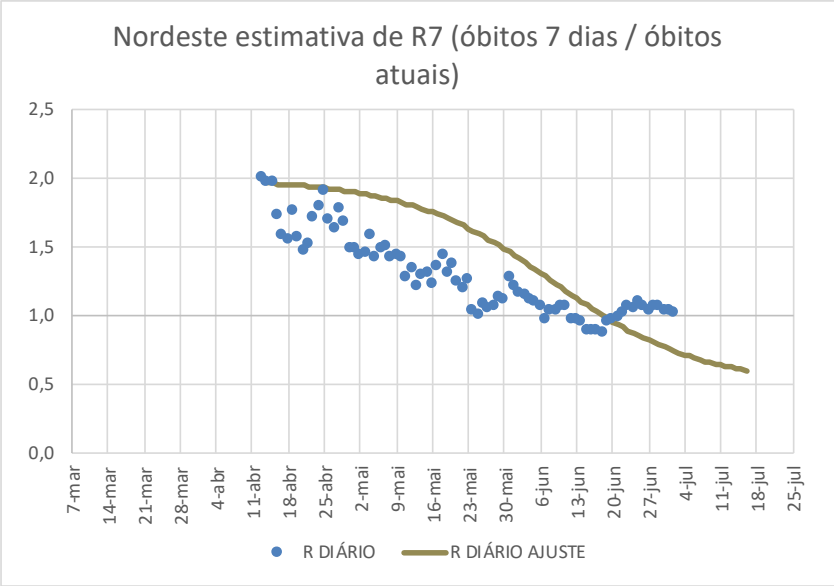


Figura 25: Fator R7 que acima vinha decaindo regularmente até a terceira semana de junho, se estabilizou perto de um.

A Região Norte

A determinação do “nicho” foi feita a partir da curva entre óbitos diários e acumulados, onde os dados são ajustados numa curva parabólica (Figura 26). A Região Norte foi protagonista das maiores crises hospitalares da pandemia que, como é de hábito, não teve a cobertura alcançada em outros centros, mormente no Sudeste.

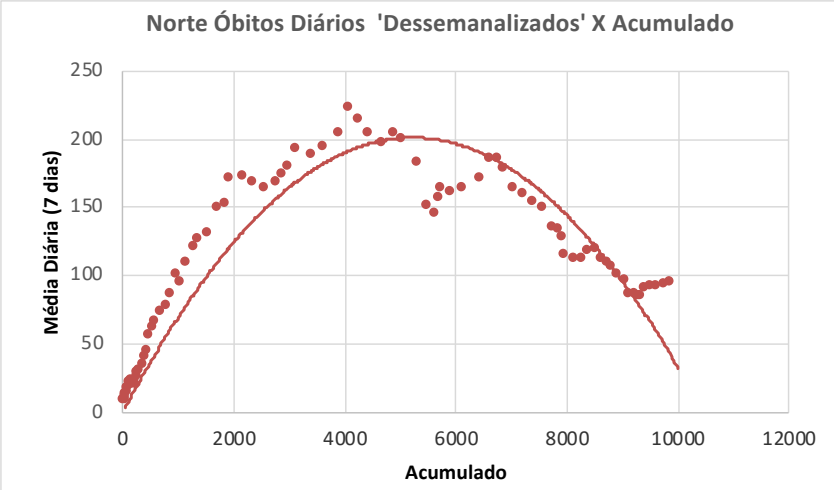


Figura 26: Gráfico usado para avaliar o “nicho”, com parâmetros indicados abaixo

a2	-7,21E-06	10.552	NICHO		R_2 = 0,874
a1	0,0761	5.276	N*/2	01/06/2020	dia do máximo

É interessante assinalar o melhor ajuste para a determinação do máximo que o da a curva logística, mostrado na Figura 27, que descreve a trajetória em S da disseminação da pandemia.

A determinação do máximo fica mais fácil, é claro, quando o processo já passou por ele, que é o caso da Região Norte onde a constatação é visual.

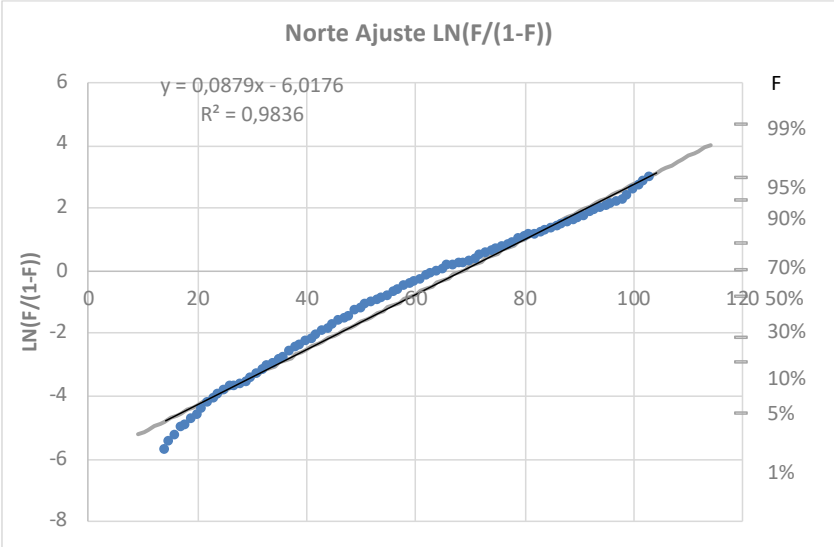


Figura 27: Reta para determinar os parâmetros do ajuste de LN (F/(1-F)) da função logística

a	0,0879		
b	-6,0176	R^2	0,9836
-b/a	68	dias até atingir o pico, a partir do primeiro óbito	
Delta	50	dias, tempo para passar de 10% a 90% do nicho	

O parâmetro marcante da pandemia na Região Norte é, justamente a rapidez da evolução do processo tanto de subida como de descida (em óbitos diários). A Figura 28 mostra os óbitos acumulados na Região Norte e o percentual alcançado em relação ao “nicho” previsto (10.500 óbitos).

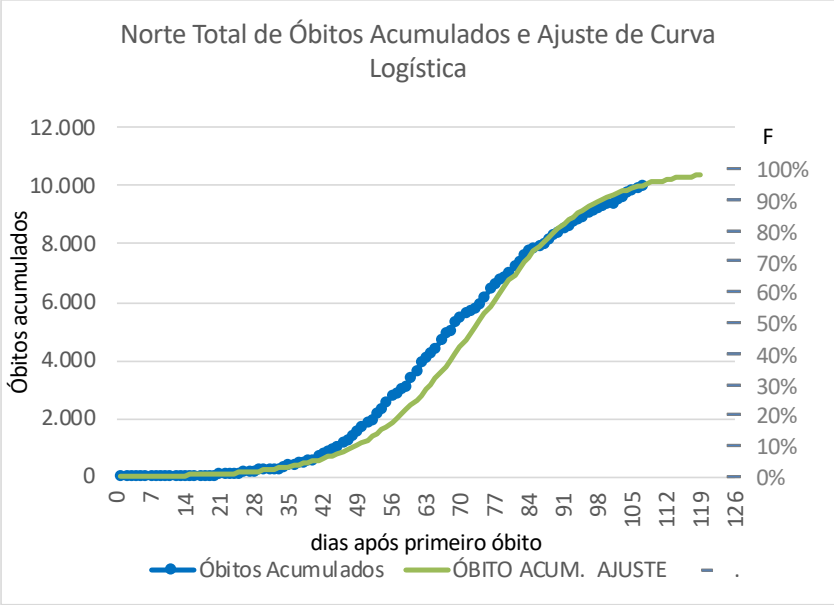


Figura 28: Evolução de óbitos no N, com o processo praticamente encerrado

Pode-se ver na Figura 28 que o ciclo de contaminação estaria praticamente encerrado. Na Figura 29 é mostrada a curva de óbitos diários com a queda mais nítida entre todas as regiões. Novamente, pode-se ver um “apêndice” no gráfico que tanto pode significar uma oscilação no processo atual ou o indesejado início de um novo ciclo. Mais de 90% dos óbitos já teriam ocorrido até início de julho de 2020.

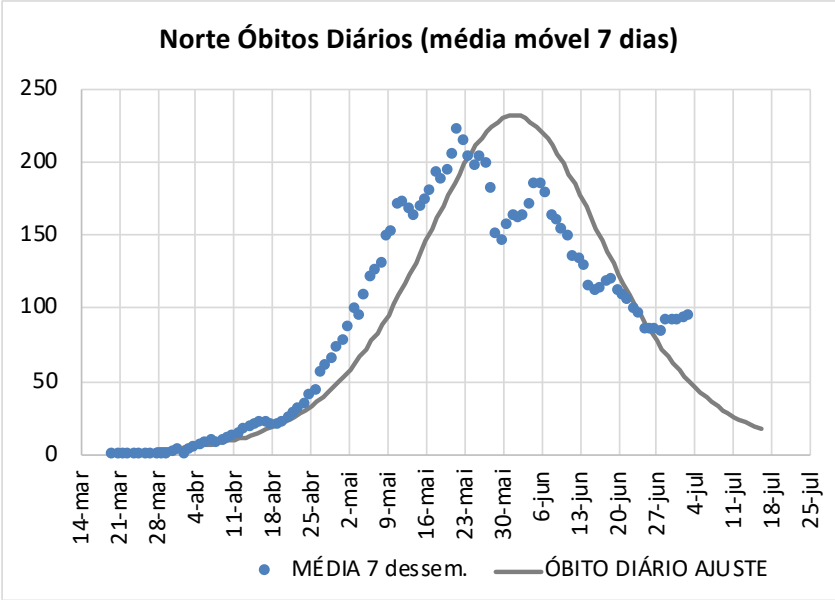


Figura 29: Evolução de óbitos diários com expressiva queda no número de mortos, mas com uma ameaçada de retomada.

Na região Norte, como na maioria dos casos, a rampa de "subida" é mais inclinada que a de descida. Este comportamento é sinal da interferência humana, as oscilações indicam também a existência de processos diferentes na mesma região que podem provocar picos extras no processo[16]. A gradativa abertura das atividades econômicas também resulta no aumento do "nicho" que é mais um fator que contribui para que a rampa de saída seja menos inclinada que a de subida.

A Figura 30, com o comportamento do R7, mostra a evolução desse fator que experimentou já outras oscilações. Nos primeiros dias de julho esse fator superou a unidade. Isso pode

[16] Nesse caso, o primeiro pico corresponde ao máximo de Pernambuco e o segundo ao do Ceará.

ser mais uma oscilação, entre as várias observadas, ou uma indesejada retomada da doença.

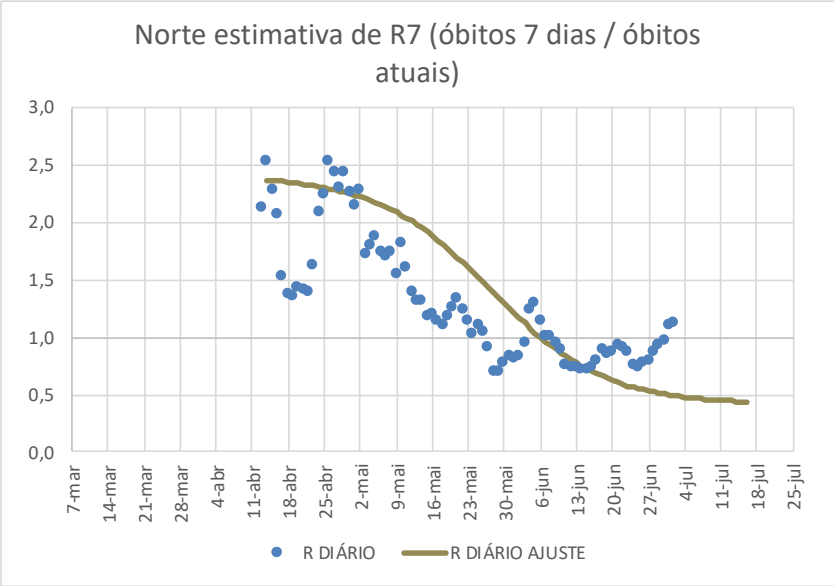


Figura 30: Fator R7 que decaiu até metade de junho regularmente até meados de junho, os últimos dias fazem gerar alguma dúvida sobre o fim do processo de contaminação.

A Região Sul

A Região Sul é, até agora, a de menor número de casos e óbitos pela Covid por habitante. Isto não se dá pela ausência de grandes metrópoles, já que as regiões metropolitanas de Porto Alegre (4,3 M hab.) e Curitiba (3,6 M hab.) fazem parte da Região e representam cerca de 1/3 da população de seus estados. O comportamento da expansão de óbitos pela Covid 19 não permite ainda determinar o valor de máximo em óbitos/dia para a Região. A Figura 31 mostra a tentativa de ajuste da parábola para a determinação de coeficiente a ser usado na curva logística que descreveria a evolução da doença ao longo do tempo.

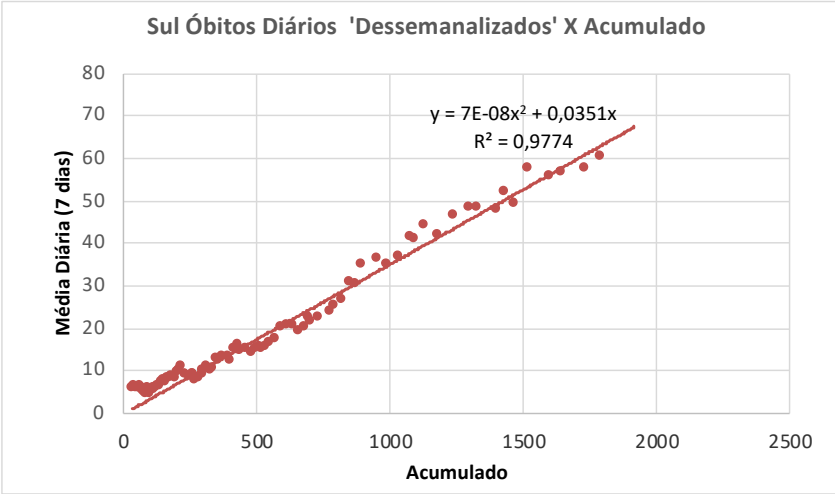


Figura 31: Tentativa frustrada de determinação de valor do "nicho" para a Região Sul

Na falta da determinação do "nicho" pelo ajuste da parábola, foi usado o "nicho", em óbitos por habitante, encontrado na aplicação da metodologia para o Brasil, como um

todo. Assim, considerada, a população da Região Sul (30,0 milhões de habitantes) e o valor esperado para o Brasil (401 óbitos por M hab.) estima-se um total de 12 mil óbitos devido à COVID 19.

Adotada essa opção, o ajuste mostrado na Figura 26 é muito bom e prevê um processo relativamente longo. Os últimos dados mostram uma tendência ascendente, mas não indicam a inflexão da parábola que se reflete no coeficiente negativo no termo quadrático (valor do coeficiente a_2 de x_2).

A Figura 32 mostra a trajetória dos valores de óbitos acumulados verificada referentes à Codiv 19 e o ajuste.

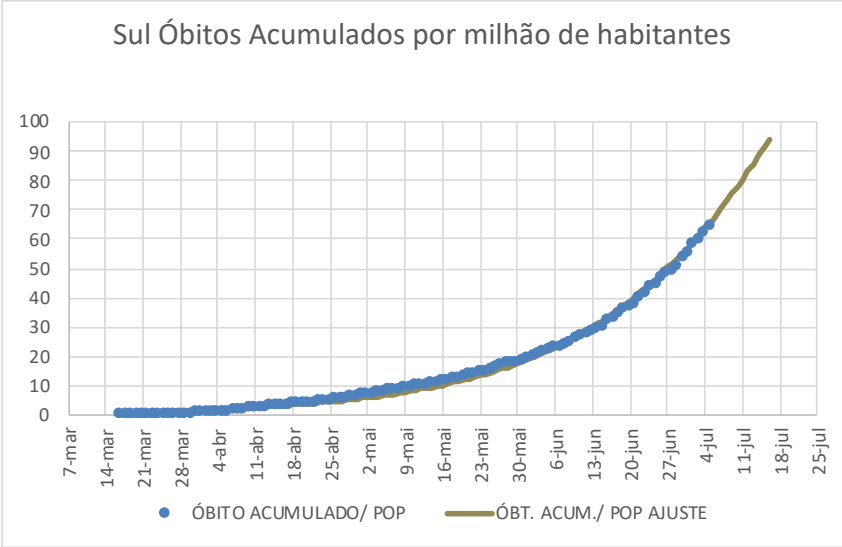


Figura 32: Ajuste para a Região Sul até 05/07, mostrando a relativamente lenta progressão dos óbitos devidos à Covid 19.

O outro caso de baixa ocorrência relativa de óbitos era o da Região Centro-Oeste que entrou em uma fase de rápida expansão da doença, como será visto a seguir. A Figura 33

mostra que tanto o número de casos positivos como o de óbitos começaram a crescer na Região Sul, o que pode colocá-la como o próximo epicentro da doença, como já está acontecendo com a Região CO

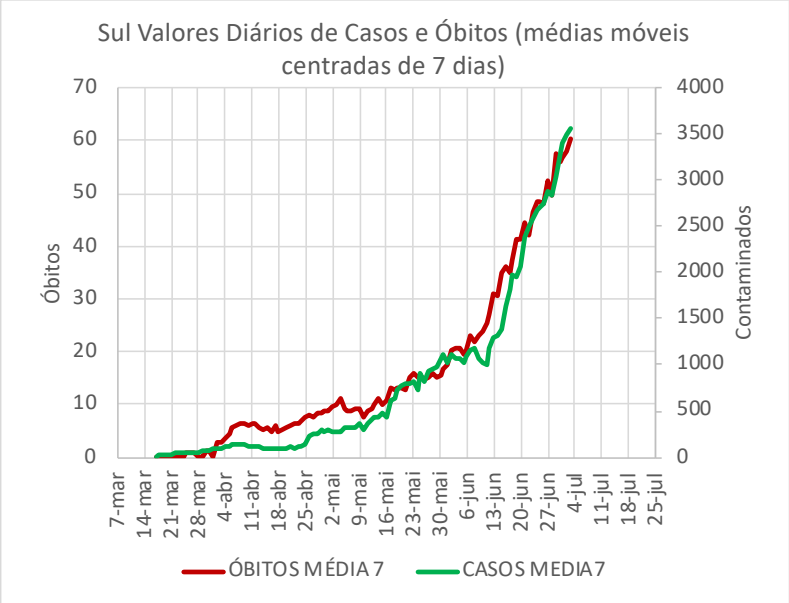


Figura 33: Óbitos diários atribuídos à Codiv 19, mostrando a mudança de comportamento a partir da 2ª semana de junho

A Região Centro-Oeste

Foi visto, na comparação do comportamento das regiões, que a Região Centro-Oeste, manteve uma baixa taxa de óbitos até o mês de maio, quando experimentou uma explosão tardia de óbitos provocado pelo coronavírus. Em menos de um mês, a Região superou o máximo do número diário de óbitos per capita do NE e SE. No ajuste da parábola, mostrado na Figura 34, esta fase se apresenta como uma concentração de pontos até alcançar 500 óbitos.

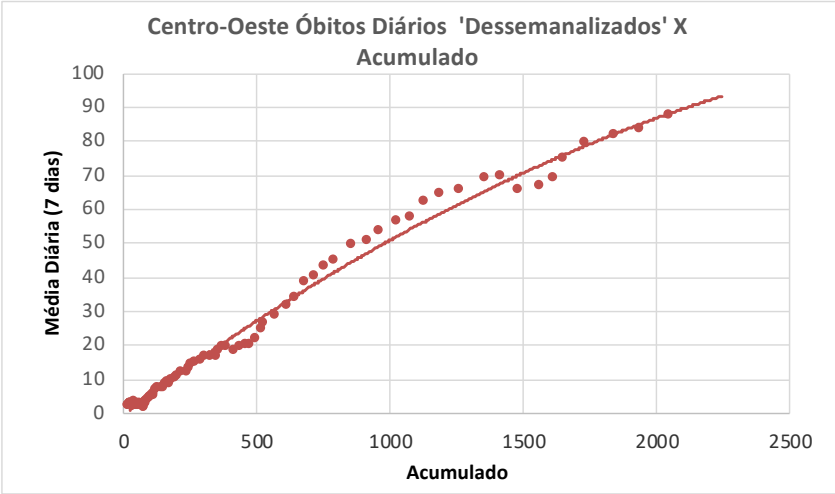


Figura 34: Gráfico usado para avaliar o "nicho", com parâmetros indicados abaixo

a2	-4,06E-06	13.506	NICHO		R_2 = 0,990
a1	0,0549	6.753	N*/2	07/08/2020	dia do máximo

A determinação do "nicho" nessa fase do ajuste aponta para um total de 13.500 óbitos que, em termos de per capita, seria o dobro da média brasileira. A determinação do nicho é mais precária nesse caso, quando ainda não se atingiu a metade do ciclo. No entanto, como vimos, na Figura 13, que a Região

acaba de ultrapassar o máximo de óbitos diário per capita do SE, NE e do Brasil, devia acender uma luz vermelha sobre a determinação de relaxar a quarentena[17]. A determinação da equação para ajuste da curva é feita na Figura 35.

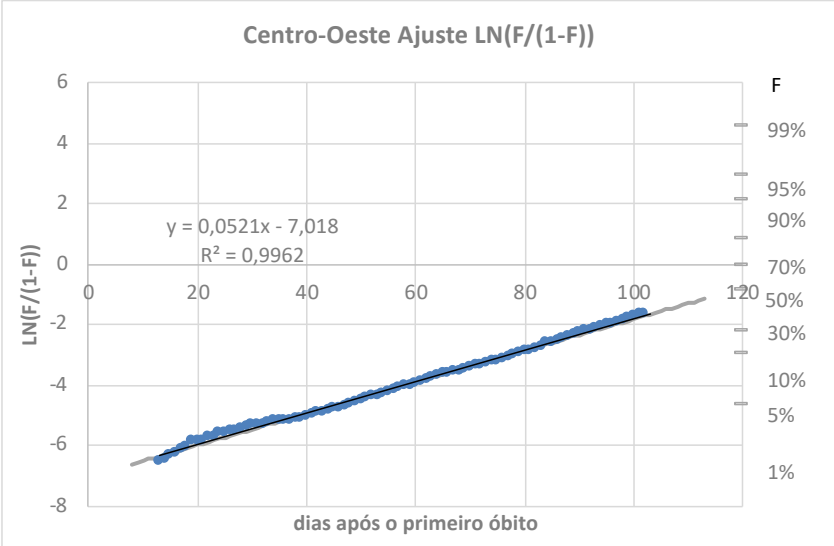


Figura 35: Ajuste de reta através do ajuste de equação com parâmetros a seguir

a	0,05213		
b	-7,01797	r2	0,9961

[17] O DF talvez tenha sido a oportunidade, agora perdida, de manter a doença sob controle monitorando as pessoas que houvessem tido contato com as portadoras do vírus. As primeiras contaminações atingiram a classe com maiores recursos, em região de baixa densidade populacional, onde o isolamento é possível e o rastreamento dos contatos pessoais do doente menos problemático.

-b/a	135	dias até atingir o pico, a partir do primeiro óbito
Delta	84	dias, tempo para passar de 10% a 90% do nicho

A Figura 36 mostra os valores dos óbitos diários para a Região e o ajuste e prevê um máximo só no início de agosto.

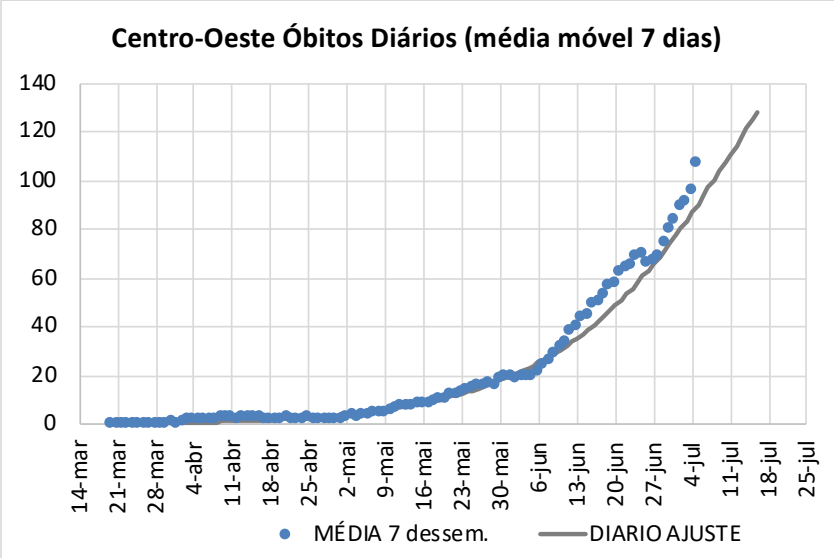


Figura 36: Óbitos diários e ajuste para a Região Centro-Oeste.

A Figura 37 mostra os valores de R7 que permanecem elevados, como já indicava o ajuste da taxa diária de óbitos.

É interessante mostrar como, em abril e maio, os valores de R7 permaneceram praticamente constantes e iguais a 1, o que significa que a situação esteve sob controle nas três primeiras semanas indicadas no gráfico.

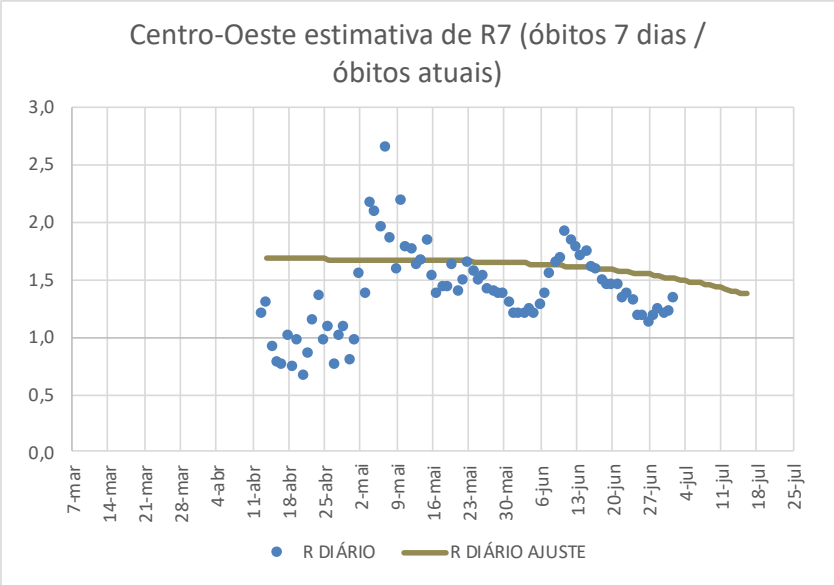


Figura 37: Valores de R7 (Casos do dia/ casos há 7 dias) que mostram que o processo anda está na primeira fase.

Aplicação da metodologia aos números do Brasil

A aplicação da metodologia a um país, como um todo, tem suas limitações, principalmente ao Brasil cujas dimensões abrangem uma grande variação de latitude e clima. A rápida disseminação do vírus, que parece ter chegado ao Brasil, quase simultaneamente, de diferentes origens, é um fenômeno aparentemente inédito no nível mundial; testemunho eloquente e trágico da realidade da aldeia global.

A riqueza e a centralização de dados no Brasil, fruto do Serviço Único de Saúde - SUS, faz do Brasil um campo de experiência interessante para a análise da propagação da doença. O Ministério da Saúde oferece dados diários de pandemia, detalhados ao nível de município em cada estado. Quase certamente, é o maior conjunto de dados setoriais de que dispõe o Brasil com o mérito adicional de ter se mantido atualizado ao longo dos anos.

Visto de outro ângulo, um ponto favorável à aplicação, em uma amostra de grande porte, é que os fenômenos estatísticos têm precisão proporcional ao tamanho da amostra.

O ajuste para determinação do ponto de inflexão, é mostrado na Figura 38 usando-se os dados corrigidos da “semanalidade”.

Lembrando que o valor dos óbitos diários, representado na Figura 31 em função do valor acumulado, passa por um máximo quando o esse valor atinge a metade do valor total esperado, denominado como “nicho” N*. O valor do nicho é a previsão dos óbitos no país, estado ou região, conforme o caso, até o final do processo. O valor de N*, conforme foi comentado, depende das condições de propagação do vírus que podem mudar com o distanciamento médio entre as pessoas e até com o clima.

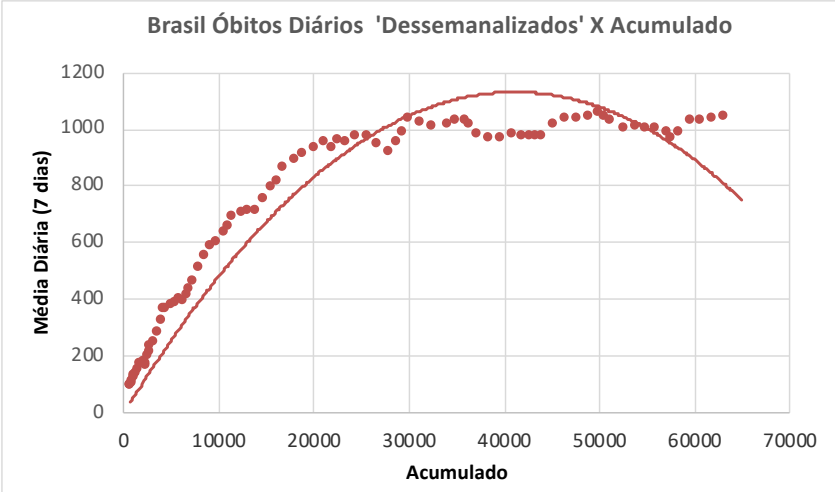


Figura 38: Ajuste de um polinômio de segundo grau aos registros de óbitos, atribuídos à Covid 19, no Brasil (dados até 05/07)

O ajuste determinou os coeficientes indicados abaixo, calculados automaticamente a partir dos dados:

a2	-6,41E-07	82.241 Nicho		R^2 0,9171
a1	0,05401	42.120	13/06/2020	dia do máximo

Os números da última semana indicam uma fuga ao ajuste anterior que revelava uma tendência de queda. Pode ser um sinal do relaxamento das medidas de distanciamento social.

Como pode ser visto a Figura 39, existe uma defasagem entre as contaminações detectadas e a ocorrência dos óbitos como demonstra a Figura 33 onde esses dados são mostrados em uma escala logarítmica. O Brasil atingiu (05/07) 1,6 milhão da casos confirmados e 65 mil óbitos.

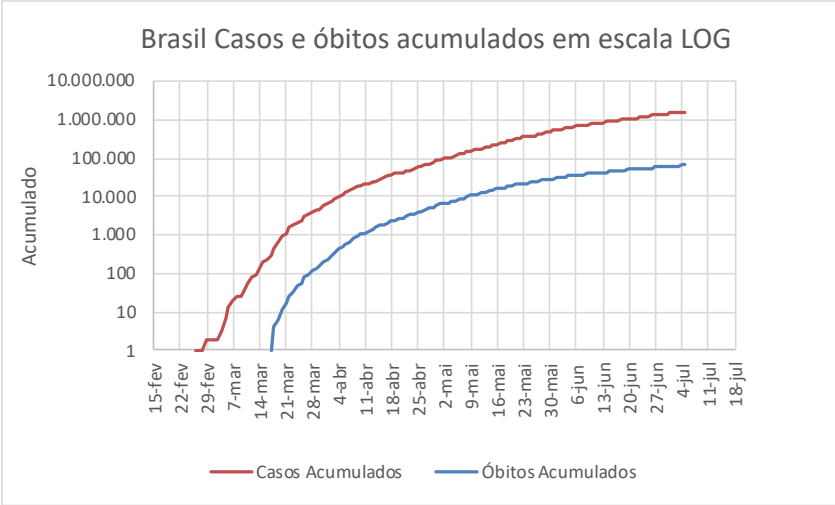


Figura 39: Evolução dos casos detectados e óbitos para o Brasil

De uma maneira geral, a apuração para os diversos estados, mostra uma defasagem de aproximadamente duas semanas entre a primeira detecção da doença e o primeiro óbito. O aparente paralelismo entre as curvas de casos e reflete uma razão aproximadamente constante, a partir do meio de abril, entre o número de contaminações detectadas e os óbitos. Pela própria defasagem esperada entre as duas curvas, o que se nota é um aumento da letalidade quando se aproxima da fase mais intensa da doença. Esta relação chegou a atingir 10% no Estado do Rio.

O próximo passo, é fazer o ajuste da curva em S, denominada curva logística, para projetar o restante da trajetória. A Figura 40 mostra o ajuste até 05 de julho de 2020, também para o Brasil.

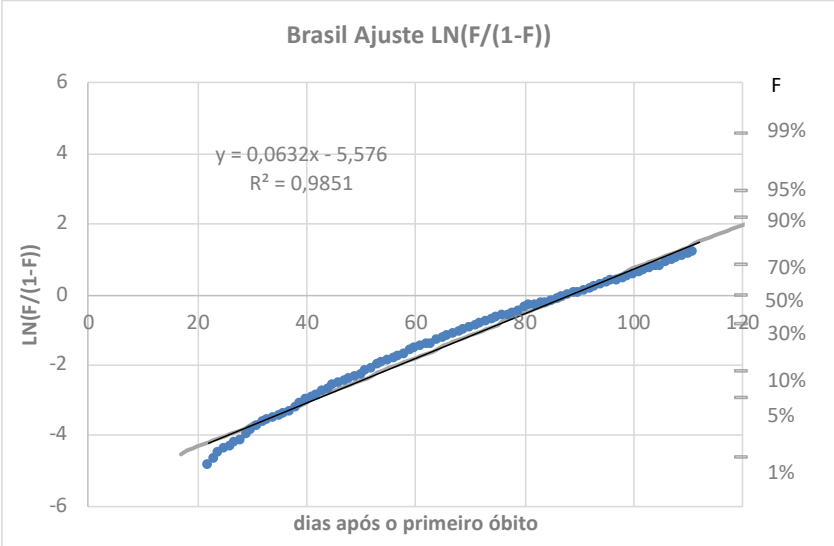


Figura 40: Procedimento de ajuste de função logística, parâmetros abaixo, a escala da direita representa os valores correspondentes de F.

a	0,06317		
b	-5,5760	r2	0,9851
-b/a	88	dias até atingir o pico, a partir do primeiro óbito	
Delta	70	dias, tempo entre atingir 10% a 90% do nicho	

Para fazer o ajuste mostrado na Figura 41, partiu-se da equação $F = N/N^* = 1/(1+ e^{(-at-b)})$, tendo sido feita uma mudança de variável para colocar a expressão na forma LN(F/(1-F) = a.t + b.

Os parâmetros a e b estão indicados abaixo do gráfico assim como o coeficiente R2[18] de ajuste (melhor quando mais próximo de 1). Também são indicados a avaliação do tempo para

[18] Média quadrática dos desvios relativos

atingir o pico (50% do processo), no caso 88 dias, e o tempo "delta" de 70 dias entre 10% e 90% dos óbitos no ciclo.

Estes tipos de representação são denominados de Fisher-Pry, em homenagem a autores que difundiram a aplicação dessas curvas em prospecções tecnológicas[19].

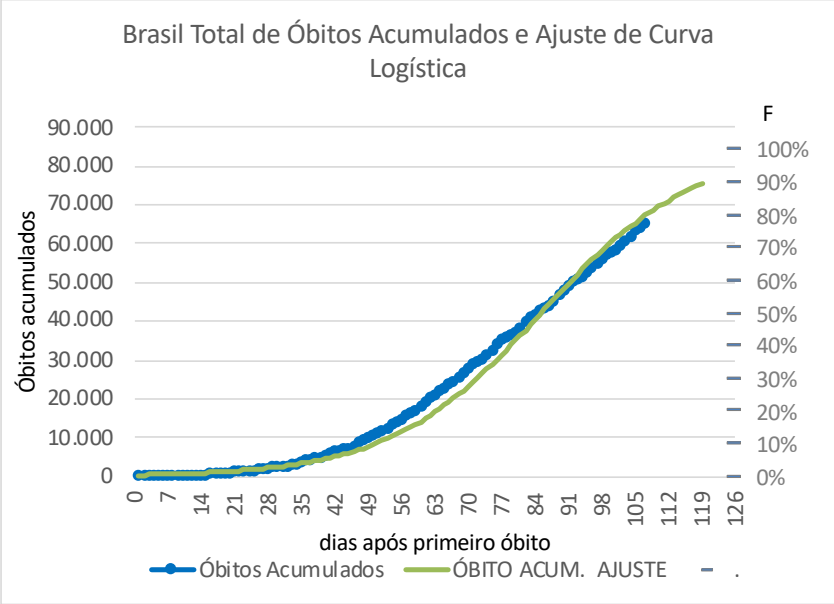


Figura 41: Óbitos verificados a partir da primeira morte por coronavirus

a	0,06317		
b	-5,5760	R^2	0,9851

[19] J.C. Fisher and R.H. Pry. *A simple substitution model of technological change*; *Technological Forecasting and Social Change*, 3:75-88, 1971. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162571800057

-b/a	88	dias até atingir o pico, a partir do primeiro óbito
Delta	70	dias, tempo para passar de 10% a 90% do nicho

Na Figura 42, foram representadas as médias centradas para sete dias, que praticamente elimina as oscilações semanais no registro dos dados cuja apuração é reduzida nos finais de semana. A boa notícia deste gráfico é que já teríamos atingido a 80% dos óbitos.

A curva de óbitos acumulados ajustada ainda apresenta um índice de correlação bastante satisfatório. Dá para perceber, no entanto, que, a partir do 50º dia, a "curva" se torna praticamente linear. Isto significa uma taxa aproximadamente constante, a partir de meados de maio, como se pode ver na Figura 43.

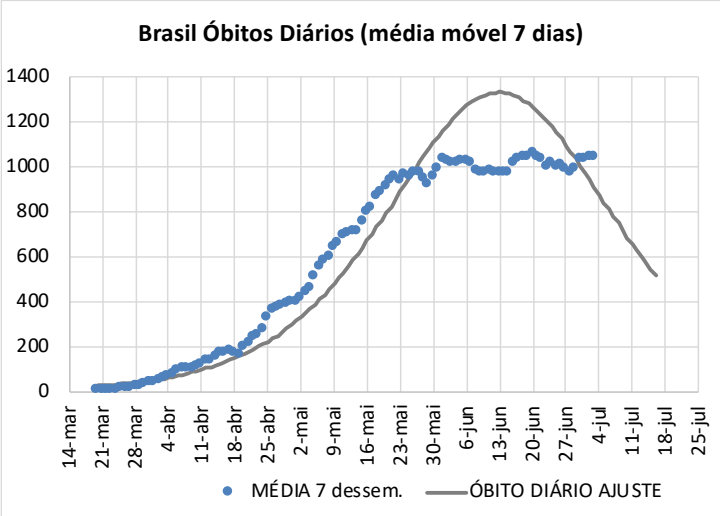


Figura 42: Representação dos óbitos diários (média "dessemanalizada") e ajuste (o mesmo da figura anterior)

Os óbitos efetivamente verificados mostram uma trajetória onde a rampa de subida tem o comportamento

esperado que se estabiliza no platô de mil mortes diárias que já dura seis semanas. Na Região Norte, onde o processo foi mais rápido e a disseminação do vírus atropelou o sistema local de combate a doença, e não foi possível estabilizar o nível de óbitos. O decaimento foi também rápido, como esperado.

Não se deve admirar, o “achatamento” da curva tendo em mente de que este era e é o objetivo da política aplicada. Essa estratégia se baseava em dosar o distanciamento social para que não houvesse o esgotamento da capacidade de atendimento da rede hospitalar. Também influi na forma da curva o fato dela representar, provavelmente, uma soma de curvas logísticas de diferentes intensidades e tempos de resposta.

Comparação dos Estados do Sudeste

Vale a pena estender a análise ao nível estadual, já que os dados estão disponíveis e as amostras são suficientemente grandes para se aplicar o tratamento estatístico. Uma maior atenção foi dada à Região Sudeste que concentra a maior parte da população brasileira e é onde foi, pela primeira vez, detectada a pandemia.

A Figura 43 compara o comportamento dos óbitos diários "dessemanalizados", por milhão de habitantes, dos 4 estados que compõem a Região SE.

Rio de Janeiro foi o que registrou o maior número diário de óbitos por habitante, pela COVID 19, que chegou a 12 por milhão de habitantes. No Espírito Santo, foi atingido o valor de 10 óbitos / milhão de habitantes.

O comportamento da curva para o Estado de São Paulo, mostra uma redução no final de abril e um crescimento linear nas semanas seguintes. Na mesma semana, o Estado do Rio de Janeiro experimentou um aumento da inclinação da curva de óbitos no início de maio, antes da redução no início de junho.

Minas Gerais é um caso aparte que merece ser estudado. Tendo, até 06/07, um número máximo diário de 2,2 óbitos por milhão de habitantes. O Estado está experimentando, com retardo, um acréscimo dos óbitos.

Nas duas últimas semanas, Rio de Janeiro e Espírito Santo, que apresentaram os maiores valores, estão em queda e São Paulo esteve estável, Minas Gerais continua crescendo a taxa de óbitos, estando a menos da metade da média da Região.

Pode acontecer também, conhecendo-se tão pouco sobre a pandemia, que a disseminação da doença em Minas esteja encontrando barreiras que ainda não são conhecidas. Foi levantada a suspeita de uma subnotificação generalizada o que parece pouco provável em se tratando de óbitos.

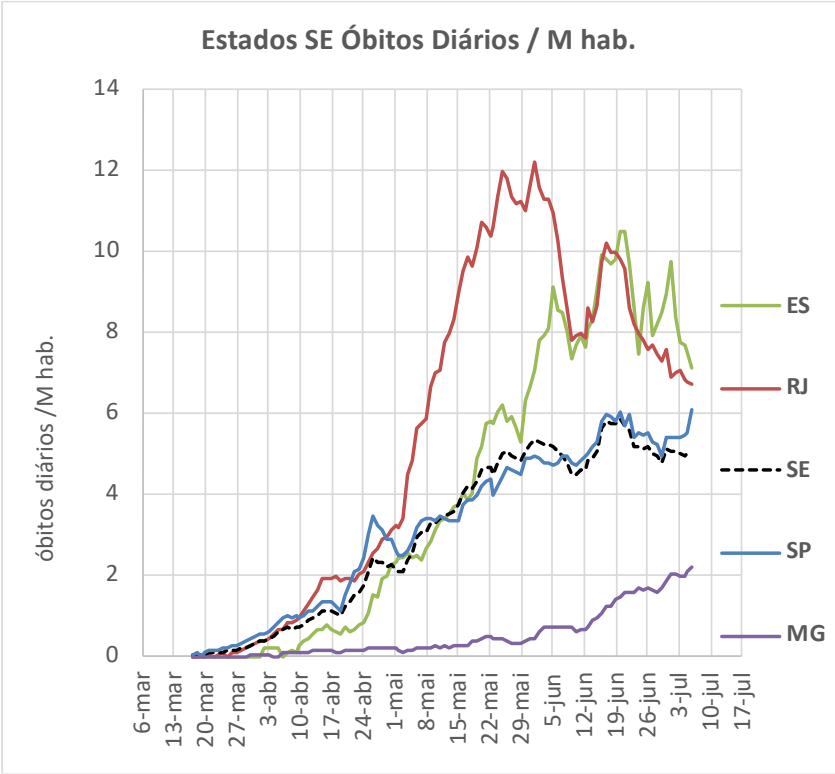


Figura 443 Óbitos diários dos estados da Região SE, corrigidos da variação semanal

Em meados de junho, Rio de Janeiro e Espírito Santo e São Paulo, apresentaram um pico intermediário simultâneo que resultou no máximo até hoje registrado na Região SE. Também foi quando Minas registrou um incremento de casos.

Parece interessante realçar que está havendo uma convergência de todos os estados para um valor médio. Minas Gerais ainda está longe da marca, mas os outros três se aproximaram de 6 óbitos por M hab.

Na comparação da evolução dos óbitos entre RJ e SP (Figura 44) a trajetória foi aproximadamente a mesma até fim de abril, tendo divergido bastante nas semanas seguintes. Rio de Janeiro chegou a 12 óbitos por milhão de habitantes e São Paulo chegou a cerca de 6 óbitos / M hab. e estão, ao que parece convergindo.

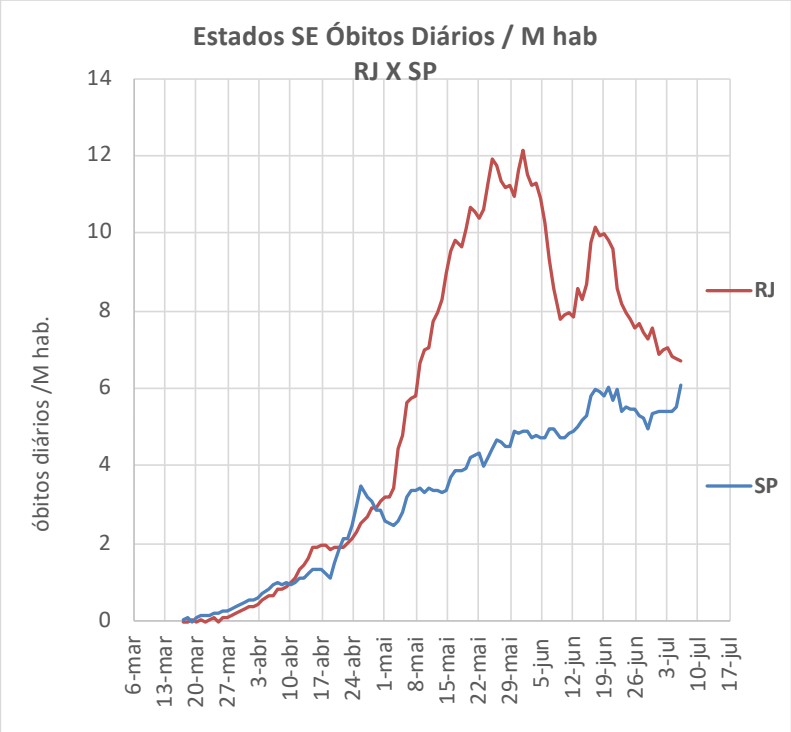


Figura 44: Comparação do desempenho da COVID em São Paulo e Rio de Janeiro

A comparação da curva de óbitos propõe uma questão interessante para os epidemiologistas que é explicar por que o comportamento tão parecido no início da epidemia se diferenciou tanto a partir do início de maio. Se São Paulo houvesse seguido

a linha do Rio de Janeiro teria havido um acréscimo superior a dez mil óbitos nos ali verificados (11.846 até 18/06)

Os estados de Rio e São Paulo, iniciaram seus registros de óbitos aproximadamente juntos. Isto é mais bem percebido quando se usa a escala logarítmica (Figura 45). Em Minas Gerais e Espírito Santo a pandemia iniciou sua propagação uma semana depois. Chamamos de novo a atenção para o desafio de justificar a diferença observada entre a propagação da doença nos vários estados que dificilmente pode ser atribuída exclusivamente às políticas de distanciamento social. Posição geográfica e clima devem ter influência.

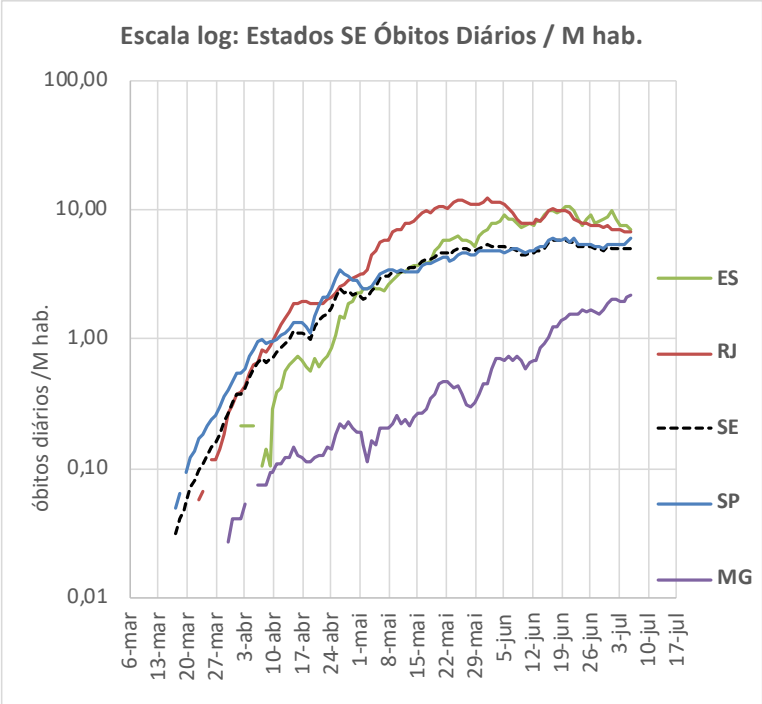


Figura 45: Óbitos diários dos estados da Região SE, corrigidos da variação semanal, em escala log.

Comparação dos Estados do Nordeste

A Figura 46 compara a evolução dos óbitos em alguns estados do Nordeste com a média para a Região. Pernambuco e Ceará têm trajetórias semelhantes com um aparente repique no CE que acaba influindo no comportamento da Região.

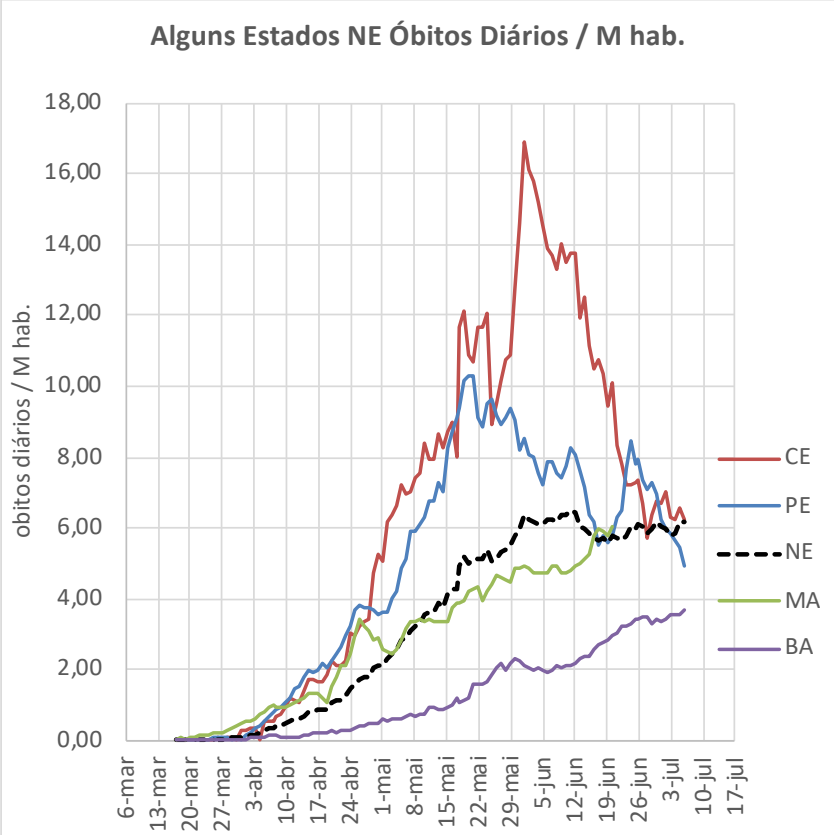


Figura 46: Evolução dos óbitos diários "dessamanalizados" de alguns estados do NE com a média para a Região.

Chama a atenção, também no caso do Nordeste, a diferença entre os processos nos diversos estados, com o destaque positivo da evolução no Estado da Bahia cuja capital, Salvador, é uma grande metrópole que exibe a característica de densidade populacional que costuma ser associada ao desenvolvimento rápido da pandemia em alguns locais.

De novo, deve-se salientar também que a causa da disparidade dos números não é a diferença da data da eclosão da doença que foi, no máximo de dez dias nos estados que constam do gráfico.

Um fato instigante é a convergência observada também para a Região Nordeste.

Alguns dos Estados da Região Norte

Como vimos, a disseminação da doença na região Norte, foi muito mais rápida que nos estados mais ao Sul. Também os óbitos estão se reduzindo mais rapidamente. A Figura 47 mostra, para três estados, a evolução dos óbitos causados pela Covid 19.

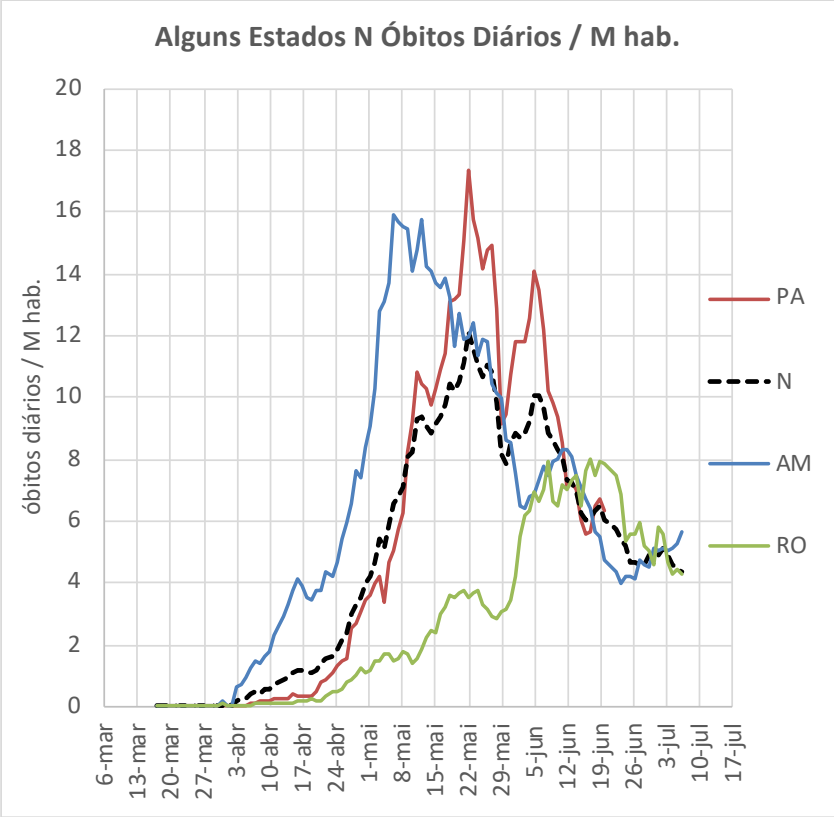


Figura 47: Óbitos em três estados da Amazônia, comparados com a curva para a região, Pará e Amazonas aparentemente superaram a crise e estão caminhando para o fim da crise sanitária.

Em termos de óbitos por milhão de habitantes, a Região Norte marcou a situação mais dramática não somente pela alta taxa de óbitos por habitante, mas pela rapidez que se deu o processo de difusão da doença. A constante delta (tempo de passagem de 10% para 90 % dos óbitos, no ajuste atual está como de apenas 42 dias. Esta rapidez do processo dificultou prover o reforço de infraestrutura que a pandemia exigia. A evolução, para alguns estados do Norte é mostrada mostra também uma convergência de valores com o tempo.

.

Ensaio:

A Dispersão do Covid 19 Depende da Latitude Geográfica?

Uma curiosidade encontrada ao longo do estudo é que as estatísticas por Região, de óbitos pela Covid 19, seguem a ordem geográfica. A região Norte apresenta a maior taxa de mortalidade por habitante e a Região Sul a menor, as regiões intermediárias seguiam também a ordem geográfica.

Ficou também claro que a grande disparidade do comportamento dos óbitos pela Covid 19 não parece poder ser explicada simplesmente por questões do distanciamento social adotado.

Surgiu o interesse em saber se havia alguma correlação com a latitude e os óbitos pela Covid 19. Para isso, elaboramos o Gráfico da Figura 1. Ele representa os óbitos por milhão de habitantes até 18/06 (dados do Ministério da Saúde) em função da latitude média dos Estados, extraída do Google, também mostrada na Tabela.

Já havíamos assinalado o grande interesse que havia na evolução da Covid no Brasil, pela abrangência de latitudes de nosso território, para a melhor compreensão da doença. Aparentemente, o Brasil apresenta a maior amplitude de paralelos do mundo, pelo menos em terras contínuas. É sabido que a propagação de vírus é sensível a condições climáticas e o Brasil propicia a oportunidade estudar a influência, em um mesmo país, com certa homogeneidade política e social e com a doença atuando quase simultaneamente, nessa grande gama de latitudes.

O resultado da verificação da hipótese de que existe uma correlação da taxa de óbitos por habitante com a latitude está na

Figura 1. Essa tendência parece existir embora se registre um ponto nitidamente fora dela que é o Estado do Rio de Janeiro, destacado na Figura 1.

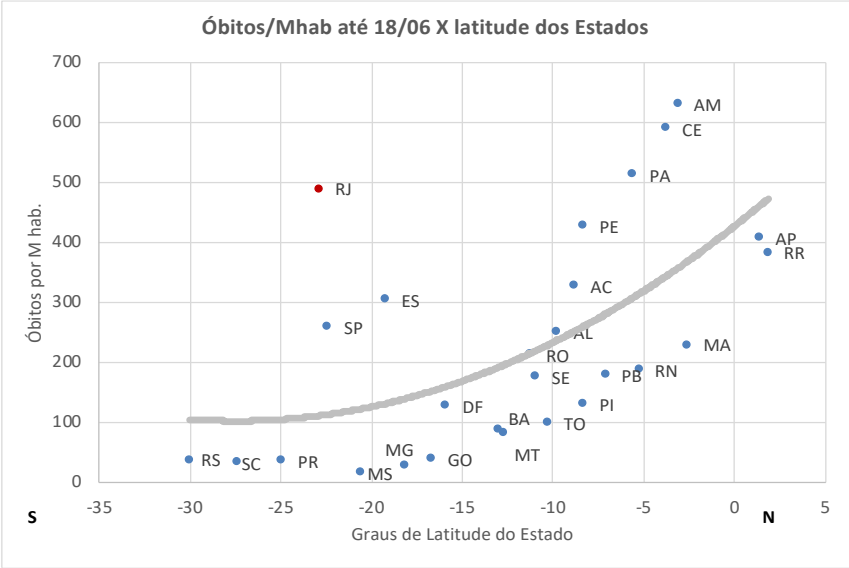


Figura 1: Óbitos por milhão de habitantes em função da latitude dos estados da Federação

O Ministério da Saúde divulga também o número de pessoas que testaram positivo para a contaminação pelo Novo Coronavírus. A progressão desse dado, ao longo do tempo, tem interpretação problemática porque depende, obviamente, do ritmo de aplicação de testes. Já o número acumulado de infectados é mais confiável e tem significado testar a dependência com a latitude, também com essa variável. Isso é feito na Figura 2 onde está representado o número de infectados por milhão de habitantes em função da latitude média dos estados.

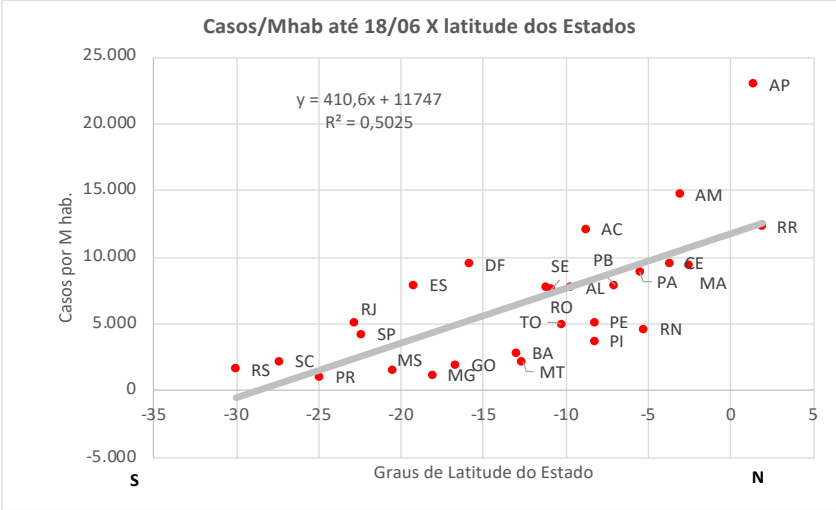


Figura 2: Casos de Covid 19 por milhão de habitantes em função da latitude dos estados da Federação

O ajuste (R2= 0,50) é bom, considerada a natural dispersão dos dados. Alguma explicação deve existir para as marcantes diferenças entre o comportamento da propagação da doença, também refletida em óbitos, nos diversos estados, que não é diretamente a distância da linha do Equador. Possivelmente, esta dependência está relacionada com condições climáticas, embora também não pode ser, a priori, descartada a influência de outras variáveis sociais, econômicas e até raciais que variem com a latitude.

Uma questão interessante é que a correlação com a latitude é melhor que a encontrada com os óbitos, em particular, desaparece o ponto fora da curva do Rio de Janeiro. Na Tabela 1, estão mostradas as variáveis utilizadas para elaborar os gráficos e representada a letalidade que é a relação óbitos por número de infectados.

Tabela 1: Latitude dos Estados e Dados Estaduais sobre o Covid

Estado	Latitude	Óbitos/Mhab	Casos/Mhab	Letalidade
AC	-8,77	325	12092	2,7%
AL	-9,71	249	7681	3,2%
AM	-3,07	629	14654	4,3%
AP	1,42	404	22923	1,8%
BA	-12,96	85	2795	3,0%
CE	-3,71	589	9557	6,2%
DF	-15,83	126	9459	1,3%
ES	-19,19	303	7881	3,8%
GO	-16,64	38	1896	2,0%
MA	-2,55	227	9341	2,4%
MG	-18,1	27	1177	2,3%
MS	-20,51	14	1538	0,9%
MT	-12,64	81	2156	3,7%
PA	-5,53	511	8907	5,7%
PB	-7,06	176	7904	2,2%
PE	-8,28	425	5088	8,3%
PI	-8,28	129	3696	3,5%
PR	-24,89	36	1042	3,4%
RJ	-22,84	487	5057	9,6%
RN	-5,22	187	4531	4,1%
RO	-11,22	210	7767	2,7%
RR	1,89	381	12251	3,1%

Continua

Tabela 1 (continuação): Latitude dos Estados e Dados sobre a Covid 19

Estado	Latitude	Óbitos/Mhab	Casos/Mhab	Letalidade
RS	-30,01	36	1566	2,3%
SC	-27,33	31	2174	1,4%
SE	-10,9	174	7543	2,3%
SP	-22,35	258	4195	6,1%
TO	-10,25	97	4943	2,0%
Brasil		227	4655	4,9%

A explicação discrepância para o Rio de Janeiro (Figura 1) vem da letalidade observada no Estado (9,6%) que é o dobro da média Brasil (4,9%). Vale lembrar que este coeficiente já é alto para a região Sudeste (média de 6,3%), sendo que São Paulo, com 6,1%, disputa com o Ceará o 3º lugar na letalidade no País (Figura 3). Já a possível dependência da letalidade com a latitude pode ser descartada.

Havíamos constatado que o nível de letalidade da Região Sudeste, a mais rica do País era surpreendentemente alto, já a do Rio de Janeiro, o maior do Brasil, é automaticamente associado ao caos administrativo que assola o Rio, há mais de uma década. De novo, isso é apenas uma impressão e como tal, sujeita a preconceitos. A questão, porém, parece aberta, ignorada até mesmo pela usual abordagem preconceituosa. Se as mais altas letalidades estivesses no Nordeste... Para começar, a estatística de resultados positivos / testes aplicados talvez ajudasse.

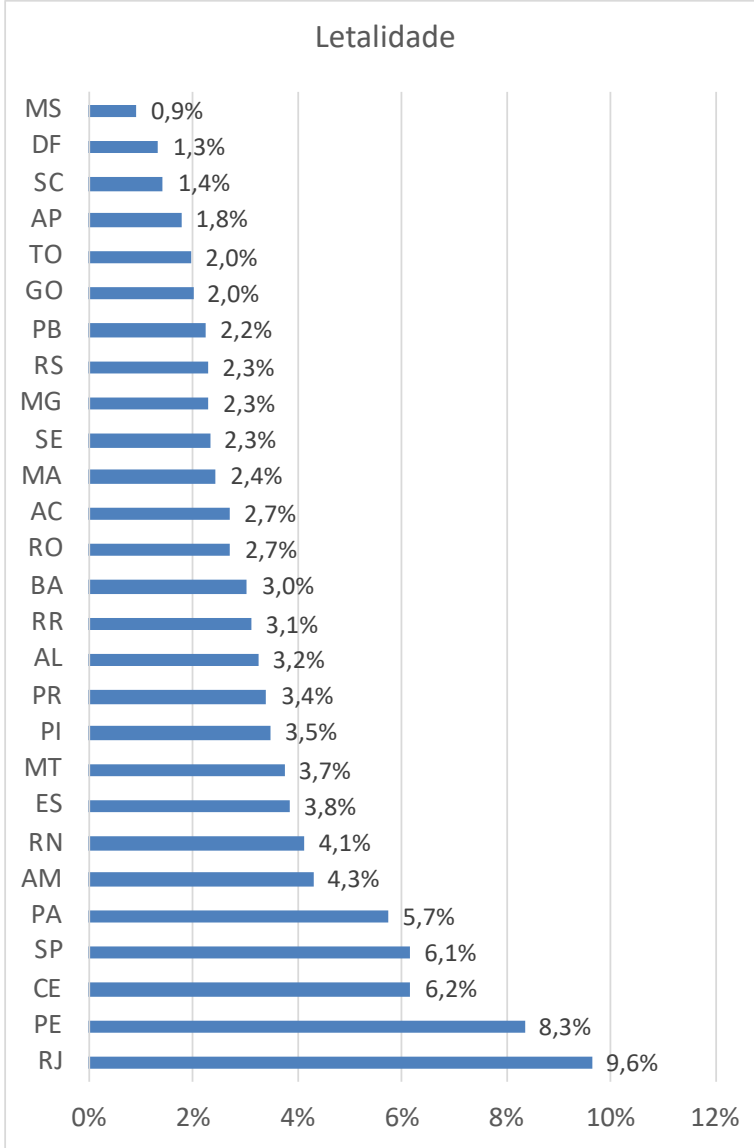


Figura 3: Letalidade nos estados óbitos/casos em 18/06

***Revista* - Economia e Energia e·&·e Economy and Energy**
Editor Chefe: Carlos Feu Alvim [feu@ecen.com]
Editor Gráfico: Marcos Alvim

ECEN - Consultoria Ltda.

Remetente:
***Revista* - Economia e Energia**
Rio: Av. Rio Branco,123 Sala 1308 - Centro
CEP - 20040-005 Rio de Janeiro - RJ