

Mexico

Yolanda Nogueira e Ana Luiza Nunes

2020.2

1 Resumo

Como objetivo deste trabalho, através de uma modelagem computacional, simulações foram realizadas a fim de aproximar os resultados numéricos relacionados a epidemia no país escolhido: México. Nas próximas subseções será discutido o panorama social e político no país, além da explicação mais detalhada sobre o modelo utilizado.

Serão descritos aqui apenas os resultados mais concretos obtidos através da modelagem computacional. Utilizamos as ferramentas do SageMath 9.1 e várias bibliotecas para suporte. Todas as tentativas podem ser vistas na pasta .ipynb no repositório do trabalho.

1.1 Sobre o México

As relações entre o processo de espalhamento do covid-19 e as características externas diretas e indiretas que pudessem alterar o nível de contágio no país foram buscadas em diversos artigos e notícias. Um dos artigos encontrados (Artigo 1) descreve a importância de olharmos para o clima da região e de relacionarmos com o tema.

Esse artigo mostra a associação entre a quantidade de casos confirmados do vírus e as características climáticas (em conjunto com os anúncios diários de meteorologia) do México na fase 1 da pandemia. Essa conexão é estatisticamente significativa. Fatores meteorológicos influenciaram a tendência de surtos regionais no país. Provavelmente, pela suscetibilidade do hospedeiro durante o inverno frio. Então, as características climáticas desempenharam um papel crucial na infecção local durante a fase 1 sendo as regiões temperadas (predominante) mais vulneráveis que as secas ou tropicais.

”The tropical climate (mean temperature around 25.95 °C and mean precipitation around 8.74 mm) delayed the regional onset. However, the regional onset in dry climates emerged earlier as consequence of the lower temperatures and higher precipitations (20.57 °C and 20.87 mm respectively) than the observed in the tropical climate. The fastest regional onsets were observed in tempered climates in states where the lowest temperatures and

lowest precipitations were registered (19.65 °C and 8.48 mm respectively).” -
(Artigo 1)

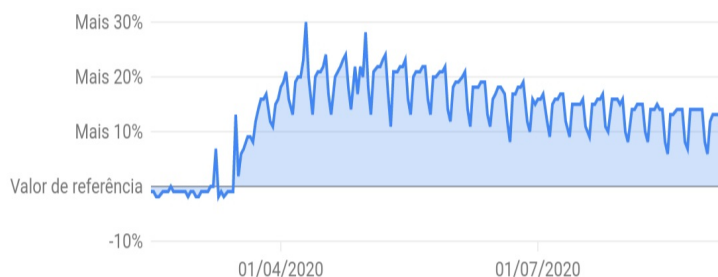
Outro tópico interessante é o fato de que o México é o país com a menor taxa de testes entre os países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Economico - 37 países membros).

”O governo rechaçou o programa de testagem em massa, sob o pretexto de ser caro e inútil, de acordo com o subsecretário de Saúde, Hugo López- Gattel, que lidera a força-tarefa do coronavírus. Mas o prognóstico é pior: sem dados, não há controle sobre a doença. Um levantamento de certidões de óbito realizado pela ONG Mexicanos Contra a Corrupção e a Impunidade entre 18 de março e 12 de maio constatou que o número de mortes por suspeitas de Covid-19 na Cidade do México é o triplo do que divulgado pelo governo.” - G1

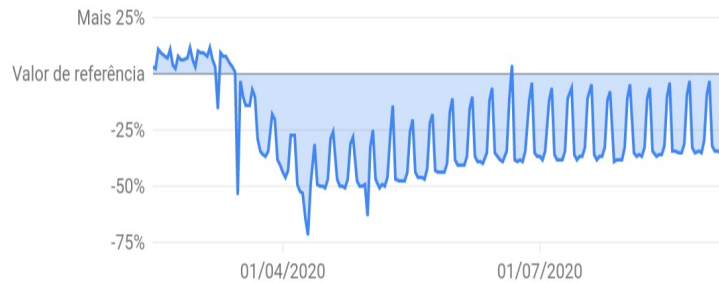
A testagem é recomendada para o desenvolvimento de um planejamento mais preciso de quando suspender as medidas de intervenção (quarentena e outras) em vigor. Além disso, o teste é necessário para a estimação do verdadeiro tamanho da epidemia.

Tais medidas intervencionistas foram implementadas na região. Medidas opcionais (apenas recomendadas) de distanciamento social para o setor privado foram publicadas no dia 23 de março de 2020 e para o setor público (suspensão de atividades não essenciais) dia 26 de março. Inclusive, várias matérias falam sobre o afrouxamento das medidas de prevenção contra a pandemia no país.

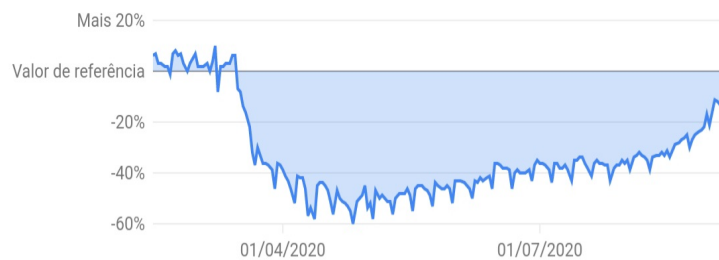
Através de dados recolhidos pela google, informações foram disponibilizadas sobre os dados de mobilidade que mostra a diminuição drástica de ações fora das residências dos mexicanos após a medida opcional ser anunciada. Essa pesquisa se encontra nos gráficos abaixo (as legendas indicam a área do estudo).



Estes dados comunicam tendências de movimento agregadas e anonimizadas de locais de residência.



Estes dados comunicam tendências de movimento agregadas e anonimizadas de locais de trabalho.



Estes dados comunicam tendências de movimento agregadas e anonimizadas de locais como parques nacionais, praias públicas, marinas, parques para cães, praças e jardins públicos. [Saiba mais](#)



Estes dados comunicam tendências de movimento agregadas e anonimizadas de locais como restaurantes, cafés, centros comerciais, parques temáticos, museus, bibliotecas e salas de cinema. [Saiba mais](#)

(Talvez esses dados sejam incluídos futuramente na modelagem. Mas, sendo uma abordagem muito complexa, pode não ser viável. Será discutido em outra seção.)

Voltando para o problema da escassez de testes, o Artigo 2 fala sobre esse tema e mostra como os serviços de emergência médica podem ajudar na análise de dados. O artigo estuda apenas a cidade de Tijuana, mas a conclusão se encaixa em todo o país (mesmo que em diferentes proporções).

A contabilidade de mortos pelo vírus é feita, normalmente, por eventos de mortalidade intra-hospitalar. Ou seja, as pessoas que não recebem auxílio hospitalar e morreram com covid não são adicionadas ao número total de mortos

pela pandemia. Isso acontece em vários outros países. Na Itália, por exemplo, 58% dos mortos não tiveram seus atestados de óbito como atendimento final no hospital.

”An estimated 194.7 (95%CI: 135.5-253.9) excess out-of-hospital deaths events occurred during the peak window (April 14th-May 11th), representing an increase of 145% (70%-338%) compared to expected levels. During the same window, only 5 COVID-19-positive, out-of-hospital deaths were reported in official statistics.” - Artigo 2

Agora, analisando o panorama geral da pandemia no México, vemos que ele não chegou na segunda onda, pois ainda não saiu da primeira. Mais sobre as ações mexicanas que dificultaram (ainda dificultam) a diminuição do número de casos ainda será apresentado. Segue o gráfico de casos confirmados tirado do Our World in Data.

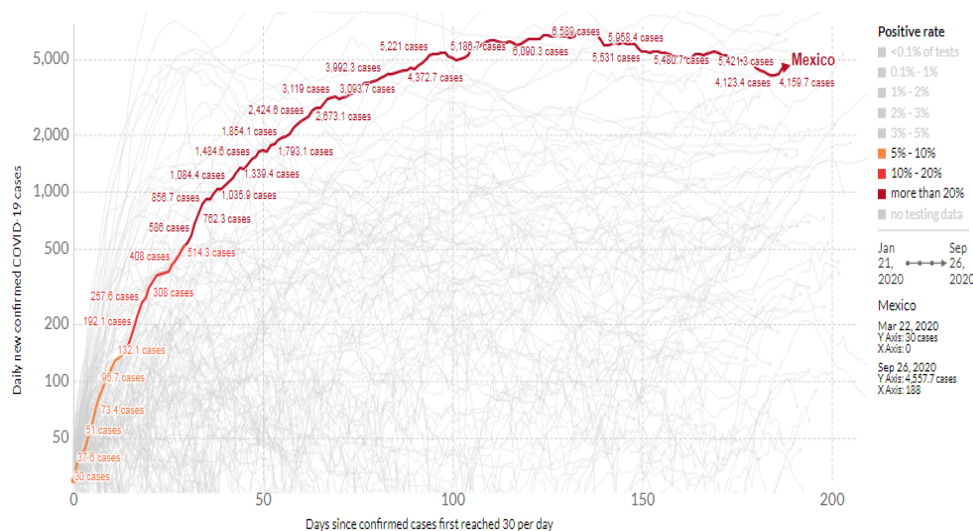


Figure 1: Casos confirmados (Our World in Data)

De janeiro a Agosto, quase 30 mil casos de óbito foram registradas acima do esperado pelas autoridades. Mesmo com ocorridos do tipo, o presidente Andrés Manuel López Obrador alegou ”No conjunto das nações afetadas pela pandemia, nós não fomos tão atingidos” após o país atingir a marca de 50 mil mortos pelo vírus. Entretanto, em agosto o país conquistou o terceiro lugar em número de óbitos pelo coronavírus, o que não é um pódio muito legal de se subir. Atrás dos Estados Unidos e do Brasil, o México (seu governante) também negligenciou a importância de medidas que ajudam a minimizar os impactos da pandemia, como já visto.

Hoje (27/09/2020) o país tem 726.431 casos confirmados e 76.243 mortes (fonte: google notícias).

Como o objetivo desse trabalho é a modelagem da pandemia no país escolhido, as próximas subseções serão usadas para a apresentação das ideias iniciais e para a discussão dos artigos usados como base (todos eles estão no repositório do trabalho).

1.2 Sobre os Artigos

Os artigos usados para fazer um estudo mais direcionado ao país escolhido e à modelagem são:

- Modeling and prediction of COVID-19 in Mexico applying mathematical and computational models
- Modeling behavioral change and COVID-19 containment in Mexico: A trade-off between lockdown and compliance
- Using posterior predictive distributions to analyse epidemic models: COVID-19 in Mexico City

(todos estão no repositório do trabalho).

O primeiro tem uma abordagem computacional (direct and inverse Artificial Neural Network) anexada ao modelo matemático e talvez seja útil mais tarde (para a nossa implementação). Já que o método é diferente do que será apresentado mais para frente, o artigo supracitado ajudaria apenas para criar uma base de como usar os dados e implementá-los computacionalmente.

Os outros dois usam o modelo SEIR modificado e esse mesmo esquema será usado na elaboração do modelo.

1.3 Modelagem

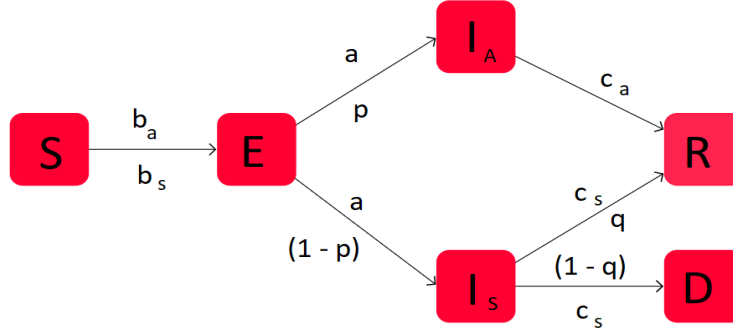
1.3.1 Modelo Proposto

Para modelar os dados da epidemia no México será usado o modelo *SEIR* (Suscetíveis, Expostos, Infecciosos e Recuperados), em que as classes são disjuntas e a população é considerada constante. Entre os contaminados pelo coronavírus, existem aqueles que apresentam severos sintomas e os que não apresentam. Os indivíduos sintomáticos, devido às limitações físicas, se movem menos que os assintomáticos, pensando nisso, será considerado que as taxas de transmissão do vírus são diferentes e será separada a classe Infecciosos em duas novas: I_a I_s .

Em dois dos artigos estudados foi usada alguma variação do modelo SEIR. No artigo principal 1 foram adicionadas duas classes, hospitalizados (H) e indivíduos em estado crítico (C), para modelar a demanda de UTI. No artigo principal 2 foi usada uma versão modificada do modelo SEIR Kermack-McKendrick, em que o modelo dividia a população em dois grupos: o primeiro segue à risca as recomendações de prevenção, incluindo isolamento social, enquanto o segundo não. Nesse mesmo modelo também foi feita a divisão do compartimento I

mencionada anteriormente. Para simplificação, não serão adotados os compartimentos H e C e também a população entre os indivíduos isolados e os que não se isolam não será dividida.

1.3.2 Descrição do Modelo



Equações

$$S' = -(b_s I_s + b_a I_a)S \quad (1)$$

$$E' = (b_s I_s + b_a I_a)S - aE \quad (2)$$

$$I'_a = paE - c_a I_a \quad (3)$$

$$I'_s = (1-p)aE - c_s I_s \quad (4)$$

$$R' = c_a I_a + c_s q I_s \quad (5)$$

$$D' = c_s (1-q) I_s \quad (6)$$

Compartimentos

- S : indivíduos suscetíveis à doença;
- E : indivíduos que foram expostos à doença mas ainda não a transmitem;
- I_a : indivíduos assintomáticos que transmitem a doença;
- I_s : indivíduos sintomáticos que transmitem a doença;
- R : indivíduos que se recuperaram da doença (imunes);
- D : indivíduos que não sobreviveram à doença.

Parâmetros

- a : taxa de saída do período latente;
- b_a : taxa de infecção per capta;
- b_s : taxa de infecção per capta;
- c_a : taxa de recuperação;
- c_s : taxa de saída do estado sintomático;
- p : probabilidade de ser assintomático;
- q : probabilidade de recuperação de sintomáticos.

Análise dimensional Todos os compartimentos representam pessoas. Será utilizado o $[P]$ na representação. A unidade de tempo será em dias $[T]$.

- Possuem unidades $[P]$: S, E, I_a, I_s, R, D ;
- Possuem unidades $[P][T^{-1}]$: $S', E', I'_a, I'_s, R', D'$;
- Possuem unidades $[T^{-1}]$: a, c_a, c_s
- Possuem unidades $[P^{-1}][T^{-1}]$: b_a, b_s

1.3.3 Captura dos dados epidemiológicos

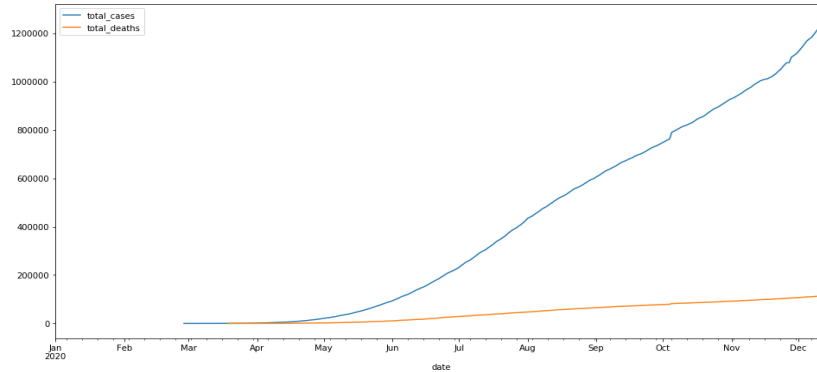
Os dados foram retirados no site Our World In Data.

2 Resultados

Nesta seção serão comentados os caminhos tomados e os resultados obtidos.

2.0.1 Obtendo os dados

Como dito anteriormente, os dados foram extraídos do Our World in Data (última atualização dos dados: 15/12/2020). Como primeiro passo, foi criado um pandas com os dados do .csv retirado do site supracitado e gerado um gráfico com os casos totais (azul) e as mortes (laranja).



2.1 r0

2.1.1 Equilíbrio

Naturalmente para este sistema só conseguimos achar o equilíbrio livre-de-doença.

Equilíbrio:

```
dsdt = -(bs * Is + ba * Ia) * S
dedt = (bs * Is + ba * Ia) * S - a * E
diadt = p * a * E - ca * Ia
disdt = (1 - p) * a * E - cs * Is
drdt = ca * Ia + cs * q * Is
dddt = cs * (1 - q) * Is

solve([dsdt, dedt, diadt, disdt, drdt, dddt],[S, E, Ia, Is, R, D])

[[S = r1, E = 0, Ia = 0, Is = 0, R = r2, D = r3]]
```

2.1.2 Cálculo do r0

O método utilizado para o cálculo do r0 foi proposto por P. Van Den Driessche e o passo a passo pode ser analisado no arquivo .ipynb localizado no repositório.

$$R0 = \frac{(ba - bs)p + bs}{a}$$

2.2 Simulação

Primeiramente, uma escolha aleatória dos valores dos parâmetros foi feita.

```
a = 0.42
ba = 0.5
bs = 0.4
ca = 0.17
cs = 0.09
p = 0.64
q = 0.88
```

Alguns dos valores foram retirados de um dos artigos base.

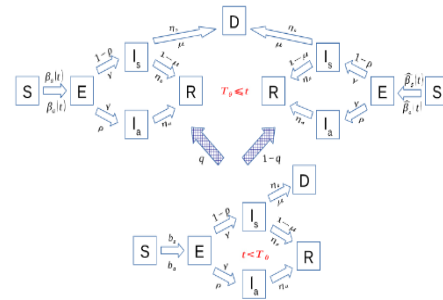


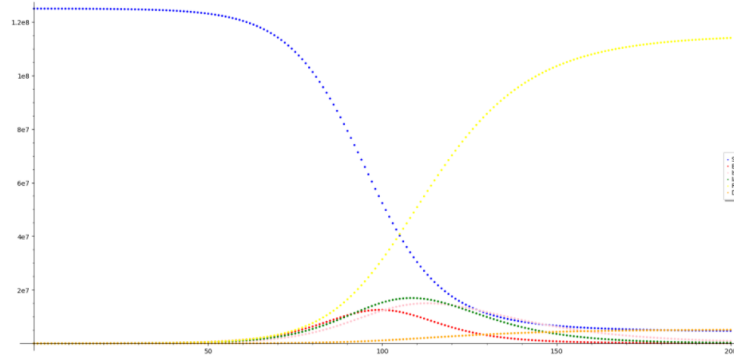
Table 1

Parameter estimates. Data from February 17th, 2020 to March 22nd, 2020 was used to generate posterior median estimates and 95% credible intervals for parameters η_e , η_i , b_e , b_i and μ . Data up to April 25th, 2020 was used to estimate parameter μ^* .

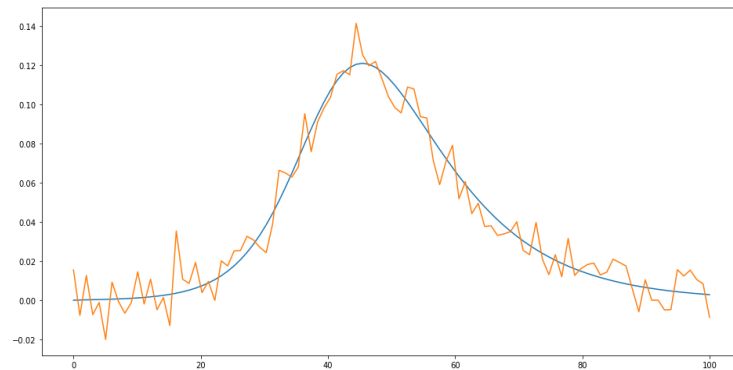
	Lower bound	Median	Upper bound
$1/\eta_e$	5.03	5.97	11.58
$1/\eta_i$	5.52	10.81	23.13
b_e	0.39	0.50	0.70
b_i	0.31	0.40	0.53
R_0	2.95	3.87	5.89
μ	0.00	0.02	0.04
μ^*	0.10	0.11	0.12

(Esse artigo também está no repositório - pasta "outros")

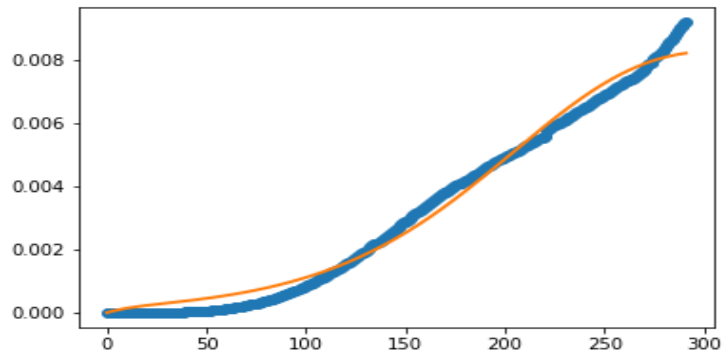
Com esses parâmetros definidos, um gráfico foi plotado com os pontos do modelo: S, E, Ia, Is, R, D. Mas essa é apenas uma simulação sem os valores reais de infectados e mortos, etc.



Então, para o ajuste dos dados (ou "fitting") foram criadas funções que "conversam" entre si para que os valores dos parâmetros sejam criados aleatoriamente e para que sejam relacionados ao número de casos totais (que, nesse momento, também será aleatório).



Parece um bom ajuste. Então, é feito o fitting com os valores reais de infectados.



Parece que o fitting foi bom, mesmo precisando de alguns ajustes para encaixar melhor a inclinação no final das curvas. Esse resultado foi obtido após a diminuição dos intervalos das variáveis alatórias.

2.3 Análise de sensibilidade

Os parâmetros de infecção são muito mais sensíveis à variação que os outros, o que já era esperado, pois, estes são os mais relevantes no modelo. A variância dos resultados em resposta à variância dos parâmetros quando se tratava dos parâmetros de saída do compartimento Infecioso foi moderada e variância do parâmetro de saída do período latente foi baixa.

3 Bibliografia

(Links clicáveis)

1. Artigo 1 - The temperature and regional climate effects on communitarian COVID-19 contagion in Mexico throughout phase 1
2. Artigo 2 - Excess Out-Of-Hospital Mortality and Declining Oxygen Saturation: The Sentinel 1 Role of EMS Data in the COVID-19 Crisis in Tijuana, Mexico
3. Notícia - A Abordagem Contraditória do México para o Coronavírus
4. Notícia - México sai da quarentena no pico da pandemia
5. Notícia - Cidade do México registra excesso de mortalidade associada à covid-19
6. Notícia - Presidente do México relativiza impacto da covid-19; país tem 50 mil mortos
7. Notícia - O Assunto #247: Os erros do México, 3º em mortes por Covid
8. Dados - Google notícias

9. Dados - Our World in Data
10. Artigo principal 1 - Using posterior predictive distributions to analyse epidemic models: COVID-19 in Mexico City
11. Artigo principal 2 - Modeling behavioral change and COVID-19 containment in Mexico: A trade-off between lockdown and compliance
12. Artigo principal 3 - Modeling and prediction of COVID-19 in Mexico applying mathematical and computational models