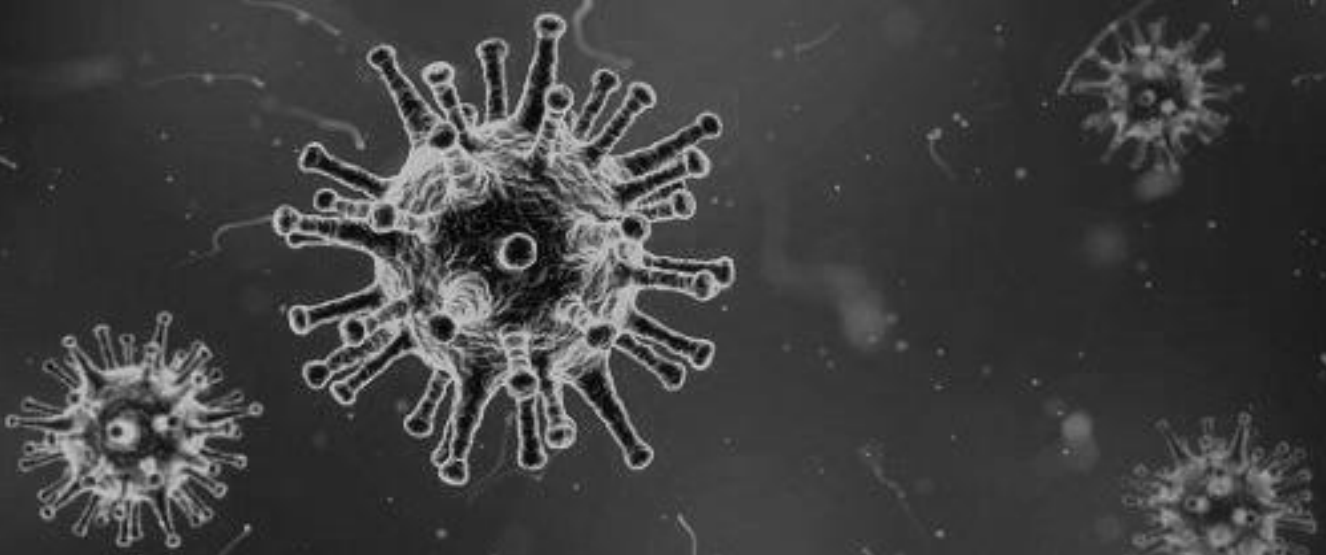




Observatório da Epidemia do Novo Coronavírus no Sul da Bahia

BOLETIM ESPECIAL – 20/07/2020



Comitê Emergencial de Crise Pandemia COVID-19

Eunápolis

Ilhéus

Itabuna

Porto Seguro

Teixeira de Freitas

Apresentação

O Observatório da Epidemia do Novo Coronavírus no Sul da Bahia é uma iniciativa do Comitê Emergencial de Crise da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) e tem como objetivo divulgar, semanalmente, boletim informativo com a análise da evolução da pandemia na região. Esta Edição Especial foi produzida com uma simulação da pandemia do SARS-COV-2 para as cinco maiores cidades do sul da Bahia, supondo diferentes níveis de supressão de fluxo de pessoas. As projeções foram elaboradas pelo matemático Fabrício Berton Zanchi e pelo engenheiro químico Orlando Ernesto Jorquera Cortes, professores da UFSB (Campus Sosígenes Costa). As estimativas não necessariamente vão se concretizar, pois os cálculos se baseiam em parâmetros, como taxa de contágio e taxa de letalidade, que variam ao longo do tempo e dependem da qualidade dos dados oficiais, bem como das medidas adotadas pelos municípios.

Uma projeção é uma série de equações diferenciais que podem utilizar “informações do presente” para responder a uma pergunta: se tudo continuar no “ritmo de hoje”, como será o amanhã? Muitos modelos podem ser utilizados para fazer projeções, cada qual com diferentes compartimentos e parâmetros. Os professores trabalharam com um modelo SEIRD, que utiliza cinco compartimentos – Susceptíveis (S), Expostos (E), Infectados (I), Recuperados (R) e Óbitos (D) – e os seguintes parâmetros: tamanho da população, período de incubação, número de casos e óbitos, taxa de contágio, taxa de letalidade e tempo que uma pessoa leva para se recuperar. Com resultados preocupantes, os autores simularam a pandemia em três cenários: sem restrição ao fluxo (mobilidade total), mantendo o atual esforço de supressão de fluxo de pessoas (quarentena flexível) e um cenário restritivo próximo do *lockdown*.

Foi utilizada, como base para o modelo, a variação do $R(t)$ (taxa de contágio) ao longo do período inicial, projetando-se o desdobramento da epidemia até 31/12. Um dos problemas para simulações com modelos é que nem sempre as informações do presente são de qualidade e nem sempre o “ritmo de hoje” se mantém. Infelizmente, não se pode confiar nos dados oficiais disponíveis no país. Há fortes indícios de subnotificação de casos e de óbitos causados pela covid-19. Os dados oficiais correspondem apenas à “ponta do *iceberg*”, longe de representarem a realidade. A baixa cobertura da testagem é a principal causa do subdiagnóstico e da consequente subnotificação, o que dificulta a compreensão da dinâmica epidêmica (para além das internações), a avaliação da efetividade das ações adotadas e a realização de projeções.

Simplificações da realidade, as projeções são mais incertas quanto mais distantes no tempo, tendo em vista a dinâmica da doença e a efetividade das medidas adotadas para o controle da covid-19. De todo modo, auxiliam na compreensão da velocidade do contágio e possíveis reflexos na ocorrência dos óbitos, a depender da supressão de fluxo de pessoas, podendo servir de “farol” para as autoridades sanitárias traçarem suas estratégias e para o cidadão comum planejar o seu futuro. Apesar dos números de casos ou óbitos estarem em alta, alguns municípios da Bahia decidiram reabrir o comércio sem implementar a testagem em massa na população nem fazer o rastreamento e isolamento de infectados e seus contatos. Os governos parecem alternar, ainda sem critérios críveis, quarentena flexível, reabertura e *lockdown*.

Itabuna – BA, 20 de julho de 2020.

Expediente

Comitê Emergencial de Crise – Pandemia COVID-19/UFSB

Representantes do CJA: Antonio José Costa Cardoso, José Milton de Sena Filho e Nathália Godinho Vasconcelos

Representantes do CPF: Laura Lind de Souza Brito Ribeiro, Leandro Lyrio de Sousa e Victor Augusto Lage

Representantes do CSC: Dalliane Oliveira Soares, Lia Valente Martins e Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes

Representantes da Reitoria: Iris Leyde Lima Vieira e Joseline Pippi

Equipe do Observatório da Epidemia do Novo Coronavírus no Sul da Bahia

Antonio José Costa Cardoso

Bilzã Marques de Araújo

Elfany Reis do Nascimento Lopes

Gabriela Andrade da Silva

Iris Leyde Lima Vieira

Joseline Pippi

Equipe Técnico-Científica de Modelagem e Análise de Dados

Fabício Berton Zanchi

Orlando Ernesto Jorquera Cortes



Quer saber mais sobre as ações de enfrentamento à COVID-19?

Acesse <https://ufsb.edu.br/covid19>

Quer entrar em contato?

Envie um e-mail para cec_covid19@ufsb.edu.br



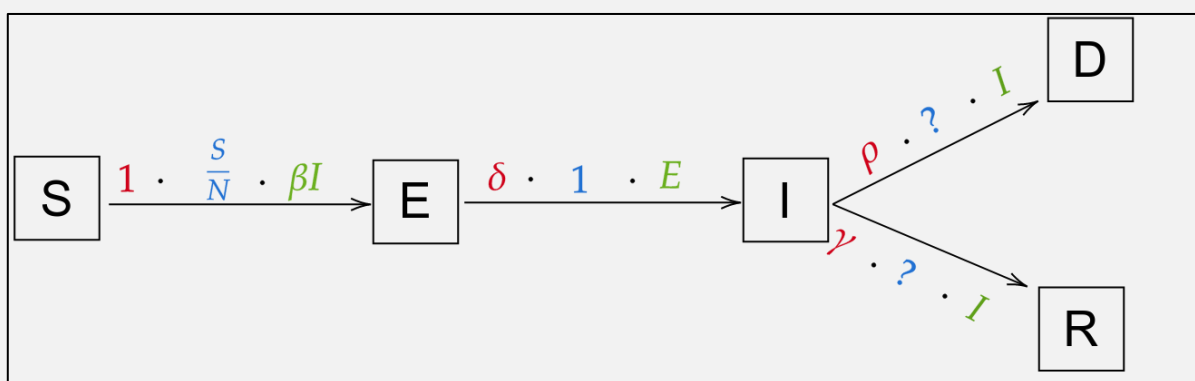
Simulação da pandemia do Sars-CoV-2 utilizando o modelo SEIRD para as maiores cidades do Sul da Bahia

Por Fabrício Berton Zanchi e Orlando Ernesto Jorquera Cortes

Diferentes modelos compartimentais para doenças infecciosas têm sido descritos desde a década de 1920 (Kermack; McKendrick, 1927). Um modelo clássico é o modelo SIR (Susceptíveis, Infectados e Recuperados), desenvolvido por Cooke em 1979. O modelo considera como premissas: a) a infecção é transmitida ao homem por um vetor; pessoas susceptíveis recebem a infecção através de um vetor infeccioso e vetores susceptíveis recebem a infecção de pessoas infectadas; b) a infecção em humanos confere imunidade insignificante e não resultará em morte ou isolamento; c) o tamanho da população humana em consideração é fixo; nascimentos, mortes e migração são ignorados; d) quando um vetor suscetível é infectado por uma pessoa, existe um tempo fixo “t” durante o qual o agente infeccioso se desenvolve no vetor; no final desse período, o vetor pode infectar um ser humano suscetível; e) há uma mistura homogênea das populações humana e vetorial; f) os infectados têm uma taxa de recuperação.

Com modificações nos compartimentos, o modelo SIR tem sido aplicado na pandemia atual pelo Sars-Cov-2, considerando: pessoas expostas, óbitos, hospitalização, admissão em UTI, infectados assintomáticos e sintomáticos, diagnosticados e isolados etc. (Li et al., 2020; Oliveira et al., 2020; Ghanam et al., 2020; Prem et al., 2020; Yang et al., 2020; Piccolomini; Zama, 2020; Chen; Lu, 2020; Chatterjee et al., 2020). Uma destas versões modificadas, o modelo SEIRD se caracteriza por trabalhar com cinco compartimentos (Figura. 1): Susceptíveis de serem infectados (S); Expostos (E); Infectados (I); Recuperados (R) e Óbitos (D).

Figura 1: Modelo SEIRD.



Fonte: <https://towardsdatascience.com/infectious-disease-modelling-beyond-the-basic-sir-model-216369c584c4>.

No enfrentamento da pandemia do COVID-19 no Brasil, que se iniciou em 27 de fevereiro de 2020, foram tomadas medidas diferenciadas pelos diferentes estados. O estado da Bahia adotou uma política de confinamento voluntário e fechamento de escolas, hotéis, comércio

e locais públicos de reunião/aglomeração. Com estas informações e dados de tendências e comportamento da população, foi então proposto um modelo SEIRD ajustado para entendermos a taxa de contágio e possíveis reflexos na ocorrência dos óbitos, por meio da descrição de alguns cenários de comportamento da população local e funcionalidade da dinâmica da cidade.

O modelo foi implementado na linguagem Python para integrar as equações diferenciais mediante uso de método numérico. Foram calibrados parâmetros como: população total; quantidade diária de pessoas infectadas; período de incubação; taxa de letalidade local; taxa de recuperados; número de pessoas que transmite o vírus; e também a variação da taxa de letalidade (no dia 15/07/2020) em relação ao SARS-COVID-19 para os municípios de Itabuna (2,45%), Ilhéus (3,1%), Eunápolis (2,4%), Porto Seguro (1,8%) e Teixeira de Freitas (1,8%).

SOBRE O MODELO SEIRD

As equações diferenciais que descrevem tal modelo são as seguintes:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta I \frac{S}{N} \\ \frac{dE}{dt} &= \beta I \frac{S}{N} - \delta E \\ \frac{dI}{dt} &= \delta E - (1 - \alpha)\gamma I - \alpha \rho I \\ \frac{dR}{dt} &= (1 - \alpha)\gamma I \\ \frac{dD}{dt} &= \alpha \rho I\end{aligned}$$

Sendo os parâmetros:

β : a quantidade esperada de pessoas infectadas por pessoa por dia.

N: população total do estudo.

δ : período de incubação de 5 dias.

α : taxa de Letalidade. Probabilidade de passar de infectado para óbito.

γ : taxa em que as pessoas se recuperam (tempo que demora para uma pessoa se recuperar). ($\gamma = 1/D_i$)

ρ : taxa em que as pessoas morrem (tempo que demora uma pessoa em morrer).

$(1-\alpha)$: taxa de recuperação. Probabilidade de passar de infectado para recuperado.

D_i : duração da viremia em uma pessoa e de espalhamento da doença.

R_0 : o número total de pessoas infectadas por uma pessoa infectada ($R_0 = \beta / \gamma$)

O R_0 ou número básico de reprodução da doença, podemos variar utilizando uma função hiperbólica assintótica (Tabatabai et al, 2005) que depende diretamente de um limite, o número total da população, e este padrão segue esta variação ao longo de tempo pela equação abaixo.

$$R_0(t) = \frac{R_{0inicial} - R_{0final}}{1 + e^{-k(-t+x_0)}} + R_{0final}$$

Onde: $R_{0inicial}$ e R_{0final} são os valores de R_0 no primeiro e último dia; x_0 é o valor no tempo onde ocorre o ponto de inflexão (ou seja, a data do declínio mais acentuado para o possível valor em R_0 , isso poderia ser considerado como a data principal de "bloqueio ou isolamento"); k nos permite variar a rapidez com que R_0 declina (Froese, 2020).

Todos os valores foram obtidos nos boletins oficiais de cada prefeitura e da Secretaria de Estado da Saúde (SESAB). As taxas de letalidade, calculadas dividindo-se o número de óbitos

pelo número de casos confirmados, aportam uma informação muito importante, uma vez que taxas maiores são intrinsecamente relacionadas com o perfil etário da população e com o grau de isolamento de cada cidade, embora possam também significar subnotificação de casos confirmados.

Para melhor compreensão do comportamento dinâmico e projeções da pandemia nos maiores municípios do sul baiano, foram considerados três cenários:

- 1- Cenário sem qualquer medida restritiva;
- 2- Cenário levando em consideração o atual esforço de cada município;
- 3- Cenário de isolamento social próximo de um *lockdown*, com resultados a partir de 01/08.

A variação do $R(t)$ ao longo do período inicial foi utilizada como base para o modelo, projetando-se o desdobramento da pandemia até 31/12/2020.

SIMULAÇÕES DA PANDEMIA EM TRÊS CENÁRIOS

Segundo a OMS, a cada 10 infectados 1 precisa de tratamento e dos que porventura precisarem de tratamento, 15% deles necessitarão de UTI. Os números de óbitos são característicos de cada regime de isolamento adotados. Se não houvesse qualquer isolamento social, poderíamos ter tido uma mortalidade altíssima e teríamos gerado o caos na saúde.

1º Cenário: Sem qualquer medida restritiva de isolamento

Caso as cidades não implementassem nenhum tipo de Isolamento social (toque de recolher, fechamento do comércio não essencial, interrupção de transporte intermunicipal e de voos turísticos) ou de orientação quanto ao uso de máscara e álcool em gel, teríamos uma taxa alta de contágio ($R_0(t) = 5$ a 3) (ver: <https://farolcovid.coronacidades.org/>). Isto significa que cada pessoa infectada poderia infectar de 3 até 5 pessoas ao longo do tempo da infecção (Figura 2). Neste cenário, o pico teria ocorrido entre o mês de junho e julho, exceto para Itabuna, que estaria experimentando o pico neste momento, mas com resultados caóticos para toda a sociedade, pois o número de óbitos seria muito alto.

2º Cenário: Mantidos os índices de isolamento atuais

Nas “atuais” condições de isolamento, temos um $R_0(t)$ variando entre 5 a 1,18 como valores máximos e mínimos nos municípios (Figura 2), um $R_0(t)$ mais baixo obtido nas últimas semanas, quando somente ficaram abertos os serviços essenciais e com medidas restritivas à locomoção dos transeuntes na maioria dos municípios. Este 2º cenário proporciona um achatamento nas curvas de contágio ($R_0(t)$ menores), trazendo-as mais para o final do ano, diluindo e amenizando o crescimento abrupto da infecção, evitando a superlotação em leitos de UTI. Isto também traz uma maior eficiência no tratamento contra o vírus. Quando comparado com o Cenário 1, nota-se um aumento expressivo no número de óbitos de 293%, 195%, 385%, 102% e 171% para Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas, respectivamente.

3º Cenário: Assumindo isolamento mais rígido, próximo ao *lockdown*.

Esse seria o cenário ideal, pois traríamos o $R_0(t)$ abaixo de 1, o que significa uma taxa de contágio muito reduzido. Então foi ajustado um $R_0(t)$ variando de 5 - 0,7 (Figura 2). Nesse cenário, assumiríamos que no mês de julho já iniciariamos um isolamento mais rígido que se refletiria no mês de agosto, cujo $R_0(t)$ ficaria abaixo de 1 após 1º/08/2020. Resumidamente, o Cenário 3 traria um ganho maior em número de vidas quando comparado com o Cenário 2 (atual), pois haveria uma redução de 39%, 41%, 32%, 78% e 74% do número de óbitos nos municípios de Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas, respectivamente.

Quando comparamos os três cenários, o melhor para salvar vidas seria o terceiro, com redução do $R_0(t)$ para menos de 1 (Tabela 1).

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TRÊS CENÁRIOS

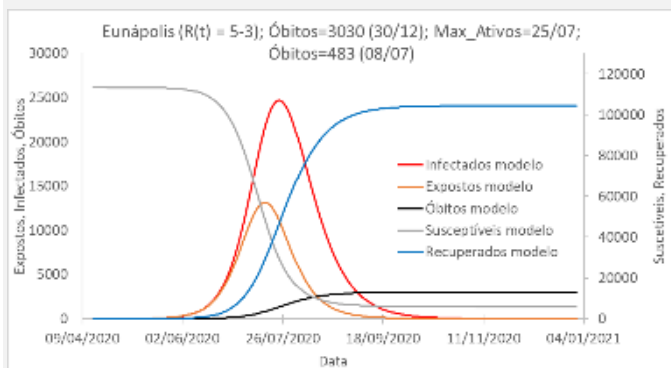
Como evidenciado nas simulações, todos os municípios ainda se encontram em fase de crescimento exponencial e as medidas de redução de fluxo adotadas não solucionarão o problema. No entanto, as medidas adotadas pelos municípios produziram efeitos positivos e evitaram maior número de óbitos; mas se forem relaxadas, estes valores poderão aumentar consideravelmente. A alternativa seria a adoção de procedimentos mais restritivos, como a conscientização da população nos municípios, para uma higienização correta e uso obrigatório de máscara facial (uma vez que já foi comprovado a eficácia da máscara) e horário de abertura e fechamento do comércio para evitar aglomerações nos estabelecimentos e transporte público. Caso as cidades optem por medidas mais restritivas (fechamento total sem qualquer fluxo intermunicipal), ainda teríamos um resquício de óbitos decorrentes do que foi feito até o presente, mas podemos ter uma redução em torno de 80-95% no número óbitos e evitar o colapso do SUS.

Estas medidas só funcionarão, entretanto, se todos os municípios da região fizerem por um período de 20 dias (levando em consideração a duração da infecção de 14 dias e permanência do vírus por 4 dias nos ambientes). Com estas medidas, o comércio poderia ser reaberto de forma gradativa até sua totalidade. Neste caso, as medidas de locomoção intermunicipal não devem ocorrer. E essas medidas precisariam vir acompanhadas por outras: as cidades devem ter equipes para assistência aos que se fizerem reclusos; estas equipes precisam estar aptas para apoiar os sintomáticos e devem ser imediatamente contactadas para qualquer sintoma; o tratamento deve ser feito corretamente; e evitar transmissão em sua casa e vizinhança. Sem isolamento e sem quaisquer medidas restritivas, as perdas de vidas continuarão.

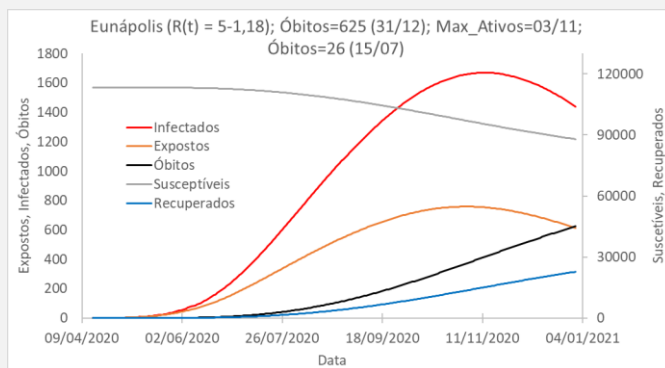
Figura. 2: Simulações da pandemia em três Cenários (Cenário 1 - Sem restrição ao fluxo; Cenário 2 - Mantida a mobilidade atual; Cenário 3 - Isolamento semelhante ao *lockdown*) para Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas até 31/12/2020.

EUNÁPOLIS

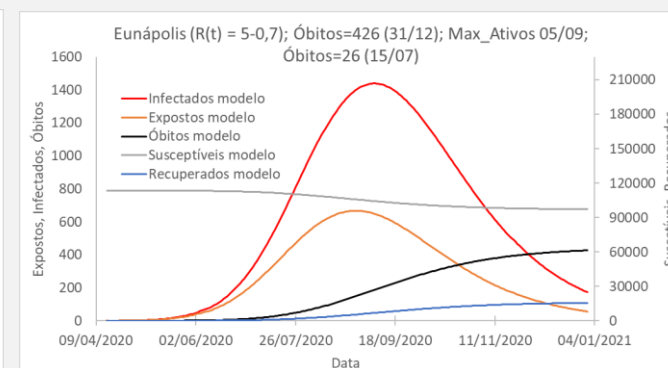
Cenário 1



Cenário 2

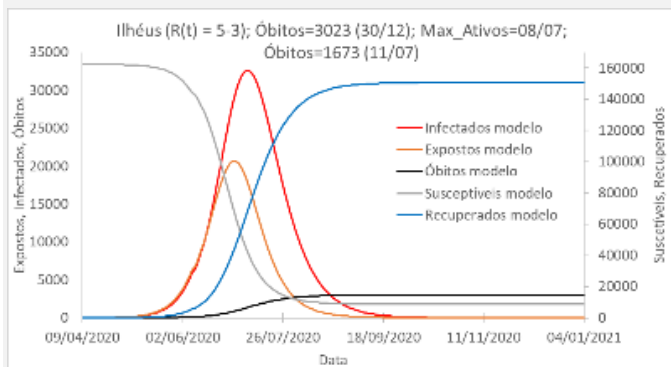


Cenário 3

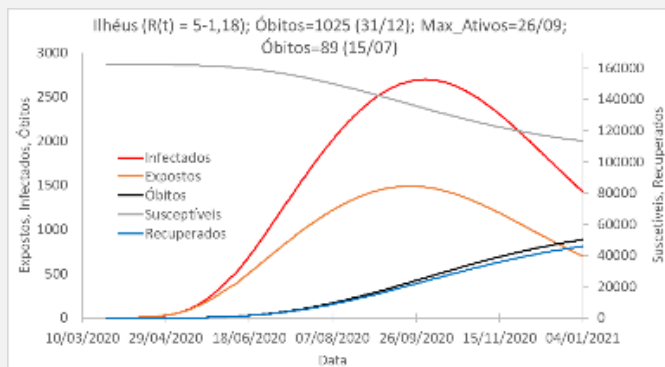


ILHÉUS

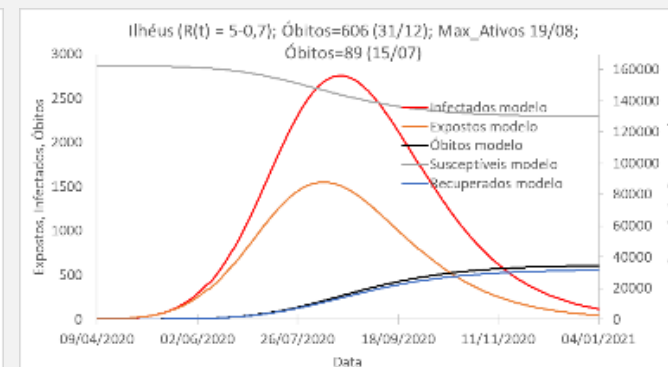
Cenário 1



Cenário 2



Cenário 3

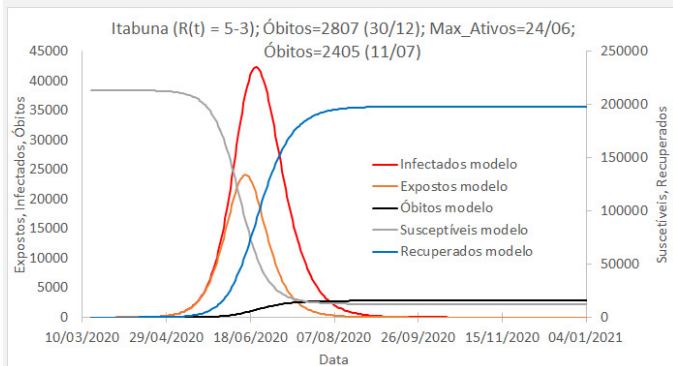


Fonte: Autores

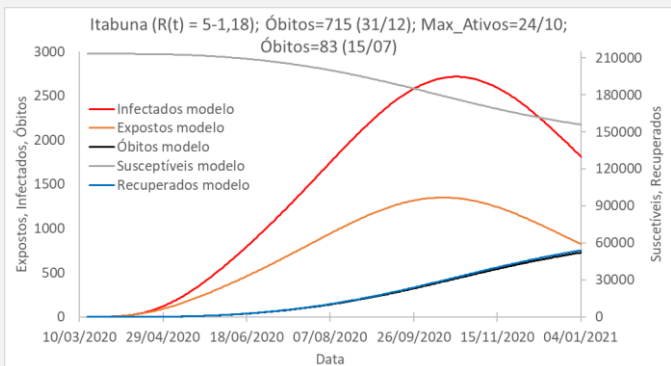
Figura 2: Simulações da pandemia (...) Continuação

ITABUNA

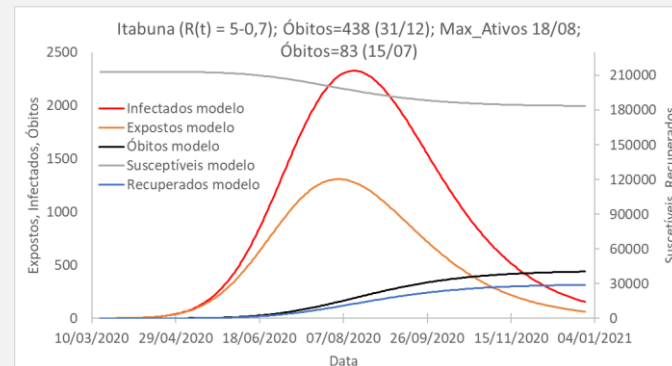
Cenário 1



Cenário 2

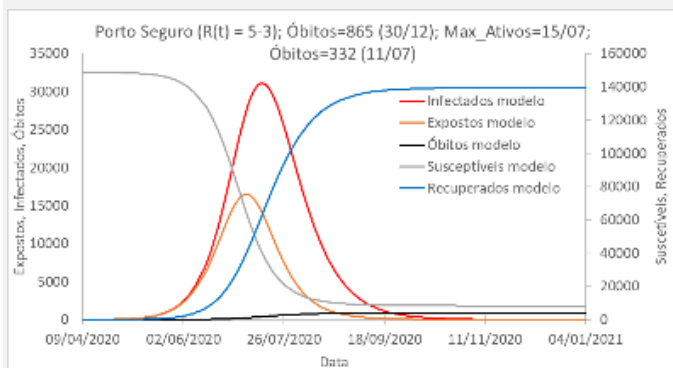


Cenário 3

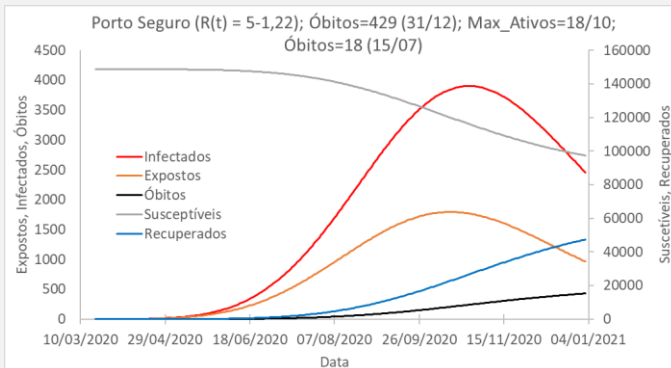


PORTO SEGURO

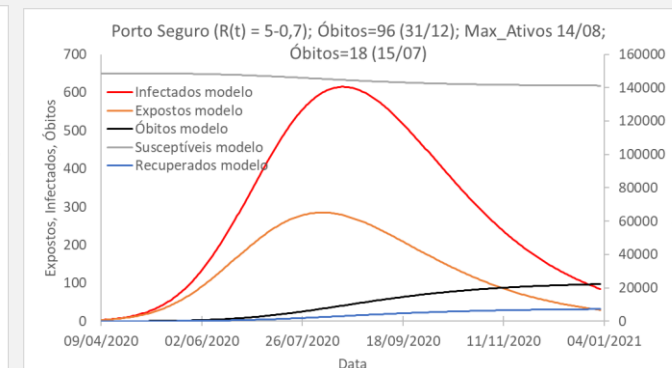
Cenário 1



Cenário 2



Cenário 3

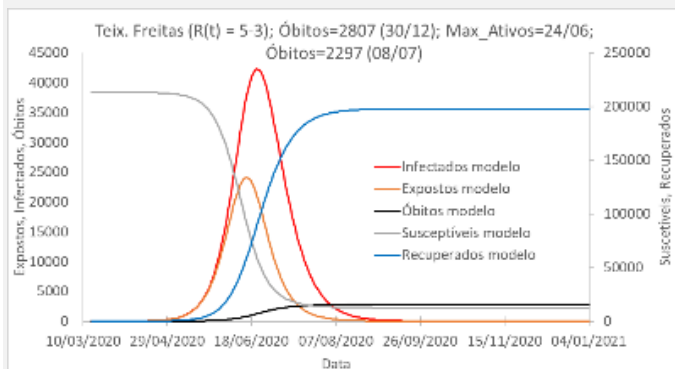


Fonte: Autores

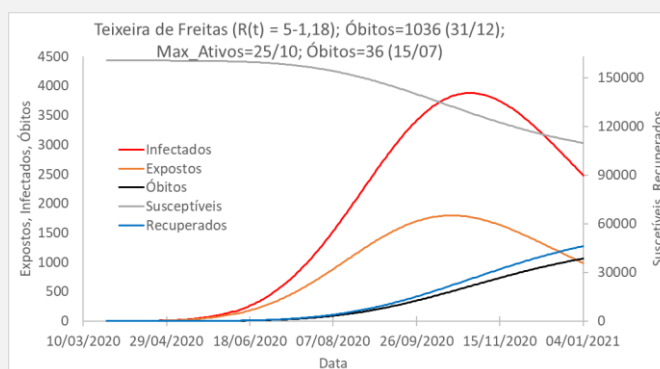
Figura 2: Simulações da pandemia (...) Continuação

TEIXEIRA DE FREITAS

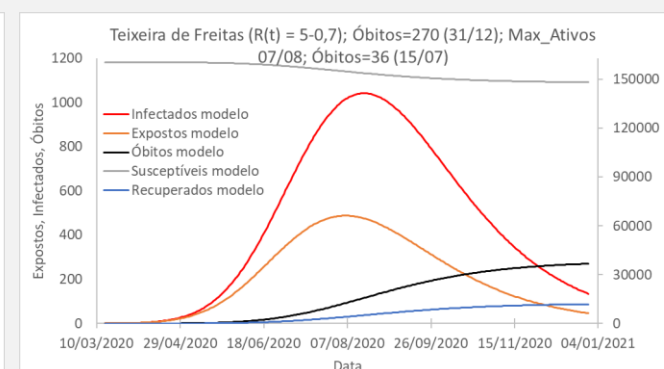
Cenário 1



Cenário 2



Cenário 3



Fonte: Autores

Tabela 1. Resultados das projeções e taxa de aumento de óbitos (em porcentagem) nas cidades de Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas até 31/12/2020.

Cidade	Nº de Óbitos Cenário 1	Nº de Óbitos Cenário 2	Nº de Óbitos Cenário 3	% de aumento Cenário 1/ Cenário 2	% de redução Cenário 3/ Cenário 1
Itabuna	2807	715	438	293	-39
Ilhéus	3023	1025	606	195	-41
Eunápolis	3030	625	426	385	-32
Porto Seguro	865	429	96	102	-78
Teixeira de Freitas	2807	1036	270	171	-74

Fonte: Autores.

Referências

Chatterjee K., Chatterjee K., Kumar A., Shankar S., 2020, Healthcare impact of COVID-19 epidemic in India: Astochastic mathematical model, Medical Journal Armed Forces India, 147-55.

Chen Y-C., Lu P-E., 2020, A Time-dependent SIR model for COVID-19 with Undetectable Infected Persons, arXiv:2003.00122

Cooke, KL. (1979) Stability analysis for a vector disease model. Rocky Mount. Math. 7, 253-63.

Kermack, W. and McKendrick A.G. (1927) A contribution to the Mathematical Theory of Epidemics, Proceeding of the Royal Society A, 700-721.

Ghanam R., Boone E.L., Abdel-Salamc A-S G., 2020, Seird model for qatar covid-19 outbreak: a case study, Letters in Biomathematics, [arXiv:2005.12777](https://arxiv.org/abs/2005.12777).

Piccolomini E.L. and Zama F., 2020, Monitoring Italian COVID-19 spread by an adaptive SEIRD Model, medRxiv, 1-15.

Li Y., Wang B., Peng R., Zhou C., Zhan Y., Liu Z., Jiang X. and Zhao B., 2020, Mathematical Modeling and Epidemic Prediction of COVID-19 and Its Significance to Epidemic Prevention and Control Measures, Annals of Infectious Disease and Epidemiology, (5),1-9.

Yang Z., Zeng Z., Wang K., Wong S-S, Liang W., Zanin M., Liu P., Cao X., Gao Z., Mai Z., Liang J., Liu X., Li S., Li Y., Ye F., Guan W., Yang Y., Li F., Luo S., Xie Y., Liu B., Wang Z., Zhang S., Wang Y., Zhong N., He J. 2020, Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions, Journal of Thoracic Disease, 12(3),165-174.

Prem K., Liu Y., Russell T.W., Kucharski A.J., Eggo R. M., Davies N., 2020, The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study, The Lancet, (5), e261-e270.

Oliveira, J.F., Jorge D.C. P., Veiga R. V., Rodrigues M.S., Torquato M. F., da Silva N. B., Fiaconne R.L., Castro C. P., Paiva A. S. S., Cardim L.L., Amad A. A. S., Lima E. A. B. F., Souza D. S., Pinho S.T. R., Ramos P.I. P., Andrade R.F. S., 2020, Evaluating the burden of COVID-19 on hospital resources in Bahia, Brazil: A modelling-based analysis of 14.8 million individuals, medRxiv, preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.05.25.20105213>.

Tabatabai M., Williams D. K. and Bursac Z., 2005, Hyperbolic growth models: theory and application, Theoretical Biology and Medical Modelling, (2) 14, 1-13.