

NOTA TÉCNICA

CAPP

Nº 02

DEZEMBRO / 2021

Acompanhamento da Epidemia do Coronavírus no Estado do Ceará

Governador do Estado do Ceará

Camilo Sobreira de Santana

Vice-Governadora do Estado do Ceará

Maria Izolda Cela de Arruda Coelho

Secretaria do Planejamento e Gestão – SEPLAG

Flávio Ataliba Flexa Daltro Barreto – Secretário (respondendo)

Flávio Ataliba Flexa Daltro Barreto – Secretário Executivo de

Planejamento e Orçamento

Ronaldo Lima Moreira Borges – Secretário Executivo de

Planejamento e Gestão Interna

Adriano Sarquis Bezerra de Menezes – Secretário Executivo de

Gestão

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE

Diretor Geral

João Mário Santos de França

Diretoria de Estudos Econômicos – DIEC

Ricardo Antônio de Castro Pereira

Diretoria de Estudos Sociais – DISOC

Diretoria de Estudos de Gestão Pública – DIGEP

Marília Rodrigues Firmiano

Gerência de Estatística, Geografia e Informações – GEGIN

Rafaela Martins Leite Monteiro

Nota Técnica CAPP – Nº 02 – Dezembro / 2021

SETOR RESPONSÁVEL:

Centro de Análise de Dados e Avaliação de Políticas Públicas – CAPP

Elaboração:

José Soares de Andrade Júnior

Humberto de Andrade Carmona

Saulo Davi Soares e Reis

César Ivan Nunes Sampaio Filho

Rilder de Sousa Pires

César Menezes Vieira

O Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) é uma autarquia vinculada à Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado do Ceará. Fundado em 14 de abril de 2003, o IPECE é o órgão do Governo responsável pela geração de estudos, pesquisas e informações socioeconômicas e geográficas que permitem a avaliação de programas e a elaboração de estratégias e políticas públicas para o desenvolvimento do Estado do Ceará.

Missão: Gerar e disseminar conhecimento e informações, subsidiar a formulação e avaliação de políticas públicas e assessorar o Governo nas decisões estratégicas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do Ceará.

Valores: Ética, transparência e impessoalidade; Autonomia Técnica; Rigor científico; Competência e comprometimento profissional; Cooperação interinstitucional; Compromisso com a sociedade; e Senso de equipe e valorização do ser humano.

Visão: Até 2025, ser uma instituição moderna e inovadora que tenha fortalecida sua contribuição nas decisões estratégicas do Governo.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE)

Av. Gal. Afonso Albuquerque Lima, s/n | Edifício SEPLAG | Térreo Cambéba

| Cep: 60.822-325 |

Fortaleza, Ceará, Brasil | Telefone: (85) 3101-3521

www.ipece.ce.gov.br

Sobre Nota Técnica – CAPP

A Série de **Notas Técnicas do Centro de Análise de Dados e Avaliação de Políticas Públicas (CAPP)** possuem com objetivo a divulgação de trabalhos técnicos e o compartilhamento de conhecimento sobre técnicas e metodologias que podem ser aplicadas na análise e modelagem de dados e na promoção de atividades de monitoramento e avaliação de políticas públicas.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE
2021

Nota Técnica CAPP / Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) / Fortaleza – Ceará: Ipece, 2021

1. Políticas Públicas. 2. Avaliação Executiva. 3. Ceará.

Nesta Edição

Nota Técnica CAPP – Nº 02 – Dezembro / 2021

Empregando dados provenientes da Secretaria de Saúde (SESA), apresentamos um modelo epidemiológico cujo intuito é analisar e fornecer subsídios quantitativos para a definição de políticas públicas de combate à evolução da pandemia COVID-19 no Estado do Ceará.

Acompanhamento da Epidemia do Coronavírus no Estado do Ceará

1. Introdução

Em março de 2020, através do decreto número 33.510 de 16/03/2020, o Governador do Estado do Ceará decretou emergência em saúde no âmbito do Estado do Ceará em decorrência do avanço da pandemia do novo coronavírus SARS-CoV-2. Em 19 de março de 2020, considerando o então crescente aumento do número de casos de pessoas infectadas pelo novo coronavírus, o Governo do Estado do Ceará intensificou as medidas de contenção, através do decreto número 33.519 de 19/03/2020, onde estabeleceu medidas de isolamento social.

Considerando decretada a emergência em saúde, nossa equipe direcionou todos os esforços para análise de dados relacionados à pandemia do novo coronavírus COVID-19, provenientes da Secretaria da Saúde do Ceará, bem como para o desenvolvimento de modelos computacionais para descrever a evolução da epidemia no Estado. Essa análise de dados foi, portanto, o foco central das atividades desse projeto no período de março a dezembro de 2020. Os resultados dessas análises e os modelos desenvolvidos foram, nesse período, fundamentais para avaliação e direcionamento das medidas de combate e contenção da epidemia no Estado.

2. O banco de dados do IntegraSUS

A plataforma IntegraSUS fornece diariamente dados relacionados aos casos notificados como infecção por coronavírus no Ceará. Esses dados contêm informações anonimizadas de todos os pacientes notificados, como idade e município de residência, bem como resultados dos exames e evolução da doença originários de diferentes sistemas de informação, a saber:

- e-SUS-VE — Plataforma de Notificação Saúde do Ministério da Saúde;
- SIVEP — Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica e Prevenção em Saúde;

- COVEP — Coordenadoria de Vigilância Epidemiológica e Prevenção em Saúde;
- CESAP — Célula de Saúde e Promoção Social (Cesap);
- SESAI — Secretaria Especial de Saúde Indígena.

Antes de serem utilizados, esses dados foram filtrados e pré-processados, visto que certos campos, como, por exemplo, município e estado de residência do paciente, são de preenchimento livre na plataforma. Após o pré-processamento e tratamento dos dados, obtemos o número de casos confirmados e número de óbitos confirmados necessários para alimentar o modelo epidemiológico que descreveremos a seguir. A evolução diária das curvas de casos e óbitos constitui um produto contínuo dessa etapa do projeto.

3. O modelo SEIIR integrado ao algoritmo de inferência IEKF

Os modelos matemáticos denominados fenomenológicos consideram os aspectos relacionados às características específicas dos mecanismos de contágio e propagação da COVID-19 usualmente compartimentalizando a população de interesse em categorias de populações, dependendo do papel que desempenham na evolução da epidemia ao longo do tempo. Aqui, descrevemos o modelo epidemiológico utilizado para inferir a transmissão do vírus no Estado do Ceará. O modelo é uma variação do modelo SEIR (Suscetível, Exposto, Infecioso e Removido) que leva em consideração a população de indivíduos com infecções não-reportadas [1]. Para tanto, a população infecciosa foi dividida em duas classes: a primeira corresponde à população que desenvolveu sintomas e teve a infecção por SARS-CoV-2 confirmada pelo sistema de saúde, que rotulamos de população infectada reportada, I_r ; a segunda classe compreende principalmente a população infectada que era assintomática, ou que não tenha a infecção SARS-CoV-2 confirmada pelo sistema de saúde, que rotulamos como população infectada não-reportada, I_u . Sendo β a taxa de transmissão para a população infectada reportada I_r , a suposição empregada no modelo é de que a taxa de transmissão para

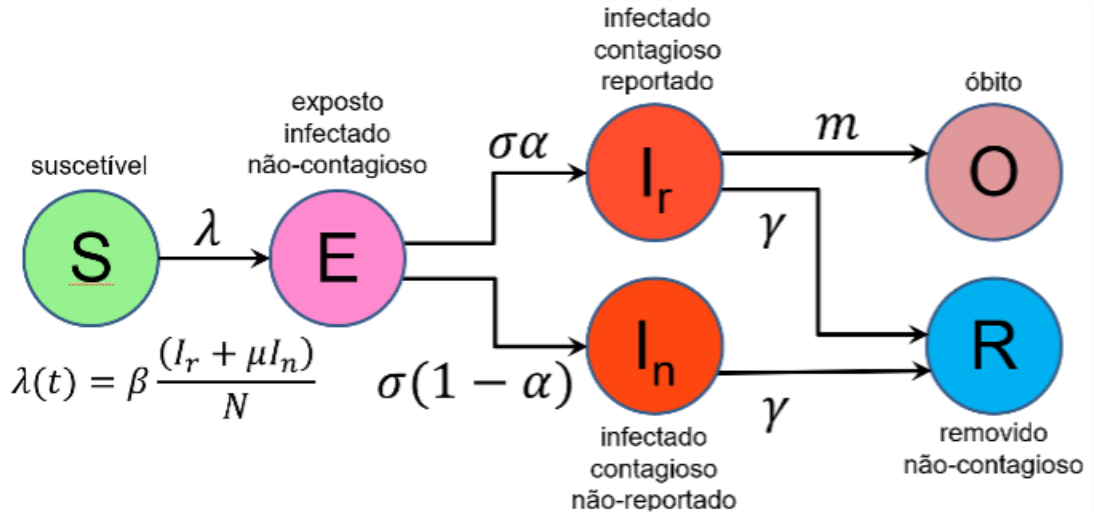


Figura 1 – No modelo fenomenológico SEIIR [1], a população total de tamanho N alimenta a população de suscetíveis S . Os indivíduos suscetíveis se tornam expostos E a uma taxa dependente do tempo $\lambda(t)$. Os indivíduos expostos se tornam infectados contagiosos a uma taxa σ . Uma fração α da população infectada se torna infectada reportada, I_r , e uma fração $(1 - \alpha)$ se torna infectados não-reportados I_n . Os indivíduos infectados reportados e não-reportados são removidos a uma taxa γ . Uma fração ϕ dos infectados reportados evoluem para óbito.

os indivíduos infectados não-reportados é reduzida por um fator de μ . Desta forma, a taxa dependente do tempo em que os indivíduos suscetíveis ficam expostos a infecções do SARS-CoV-2 nesse modelo é dada por,

$$\lambda(t) = \beta \frac{(I_r + \mu I_n)}{N},$$

onde N é a população total, considerada aqui como sendo constante. Uma fração α da população é considerada infecciosa a uma taxa σ , e a fração complementar $(1 - \alpha)$ evolui para infectados não-reportados com a mesma taxa. Assume-se também que ambas as populações infecciosas se tornam parte da população removida na mesma taxa γ . Para comparar o modelo com os dados disponíveis sobre o número diário de óbitos, também monitoramos a fração ϕ da população infecciosa reportada removida que evolui para óbito, de modo que a população falecida reportada D_r aumenta a uma taxa $\phi\gamma I_r$. O modelo, denominado de modelo SEIIR [1], é descrito na Fig. 1.

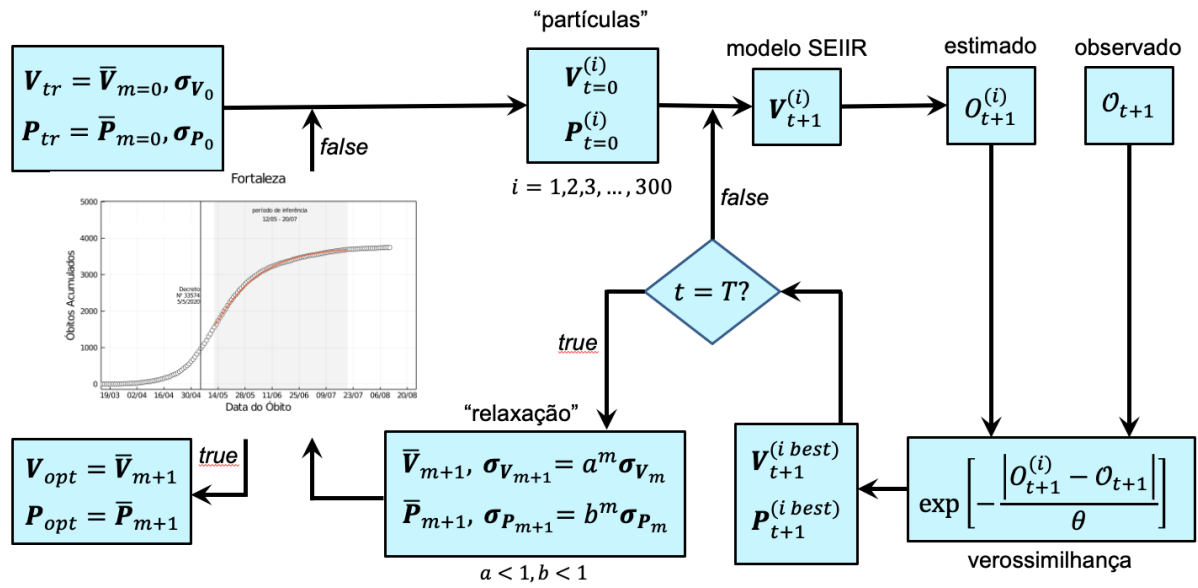


Figura 2 – Fluxograma mostrando a sequência de passos do Método do Filtro de Kalman Iterativo por Amostragem (IEKF) empregado para realizar as inferências com o Modelo SEIIR.

O modelo SEIIR é expresso matematicamente pelo seguinte sistema de equações diferenciais ordinárias, acopladas e não-lineares:

$$\frac{dS}{dt} = -\lambda S;$$

$$\frac{dE}{dt} = \lambda S - \sigma E;$$

$$\frac{dI_r}{dt} = \alpha \sigma E - \gamma I_r;$$

$$\frac{dI_u}{dt} = (1 - \alpha) \sigma E - \gamma I_u;$$

$$\frac{dR}{dt} = (1 - \phi) \gamma I_r + \gamma I_u;$$

$$\frac{dD_r}{dt} = \phi \gamma I_r.$$

A população total $N = S + E + I_r + I_u + R + D_r$ é constante e o número de reprodução efetivo para esse modelo é dado por [1],

$$R_t = \left(\alpha \frac{\beta}{\gamma} + (1 - \alpha) \frac{\mu \beta}{\gamma} \right) \frac{S}{N},$$

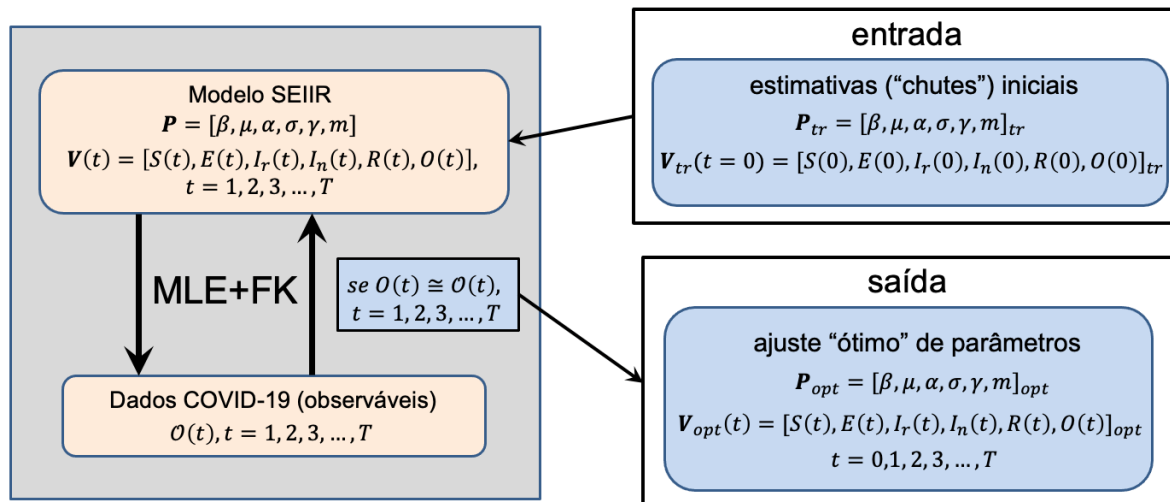


Figura 3 – Processo utilizado para a integrar o Método do Filtro de Kalman Iterativo por Amostragem (IEKF) ao modelo SEIIR com o objetivo de inferir os parâmetros e as condições iniciais que promovem o ajuste otimizado do modelo aos dados observáveis da epidemia COVID-19.

onde o primeiro termo no lado direito da equação acima para R_t é a contribuição para o número de reprodução efetiva da população infectada reportada, enquanto o segundo termo corresponde à contribuição da população infectada não-reportada.

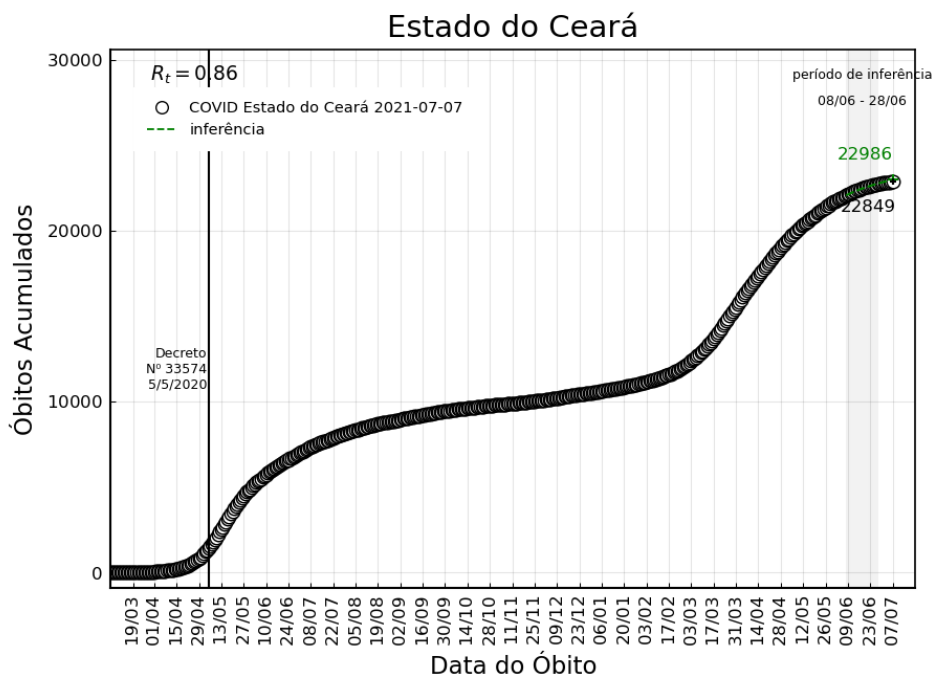


Figura 4 – Evolução do número de óbitos acumulados devido à COVID-19 no Estado do Ceará (círculos). A largura da região sombreada à direita corresponde à janela de inferência (20 dias) utilizada para estimar os parâmetros do modelo SEIIR, a partir dos quais a linha sólida em verde é produzida. Para a janela utilizada de 08/06/2021 a 28/06/2021, obtivemos o fator de reprodução $R_t = 0.86$.

Para estudar a evolução da dinâmica de transmissão do SARS-CoV-2 no Estado do Ceará como um todo, nas suas Superintendências Regionais de Saúde e em alguns dos seus municípios, empregamos o modelo SEIIR em conjunto com o Método do Filtro de Kalman Iterativo por Amostragem (IEKF) [1-3] (ver Fig. 2). Basicamente, esta estrutura nos permite investigar a evolução no tempo do número de reprodução efetivo, inferindo os parâmetros do modelo SEIIR e as populações, tomando como dados de observação o número acumulado diário de casos e/ou mortes confirmadas por infecções por SARS-CoV-2, disponibilizados na base de dados IntegraSUS da Secretaria de Saúde do Governo do Estado do Ceará [4].

O método IEKF integrado ao modelo SEIIR, como descrito esquematicamente na Fig. 3, vem sendo aplicado a janelas de inferência recentes de 20 dias desde o início da epidemia. Os seus resultados, como o mostrado na Fig. 4, são apresentados semanalmente nas reuniões do *Comitê Deliberativo Estadual de Enfrentamento à COVID-19*, bem como em forma de boletins, com o intuito de monitorar a transmissão da doença e contribuir na tomada de decisões pelo Governo do Estado. Estas apresentações e boletins representam um produto entregável contínuo do presente projeto.

4. Referências

- [1] R. Li, S. Pei, B. Chen, Y. Song, T. Zhang, W. Yang and J. Shaman. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science*, v. 368(6490), pp. 489–493 (2020).
- [2] J. Le Marshall, A. Rea, L. Leslie, R. Seecamp, and M. Dunn, Error characterization of atmospheric motion vectors, *Aust. Meteorol. Mag.*, v. 53, pp. 123 (2004).
- [3] E. L. Ionides, C. Breto, and A. A. King, Inference for nonlinear dynamical systems, *Proc. Natl. Acad. Sci. U SA*, v. 103, pp. 18438 (2006).
- [4] Boletim Epidemiológico Novo Coronavírus(COVID-19): <https://indicadores.integrasus.saude.ce.gov.br/indicadores/indicadorescoronavirus/coronavirus-ceara>, [Accessed: 28-June-2021].