



Cadernos

nº 85

Implicações da descoordenação entre as esferas federal e estadual na condução de políticas públicas de combate à pandemia da Covid-19 no Brasil

Geraldo Sandoval Góes

Luan Borelli

Implicações da descoordenação entre as esferas federal e estadual na condução de políticas públicas de combate à pandemia da COVID - 19 no Brasil

Autor

Geraldo Sandoval Góes

Coautor

Luan Borelli

Parecerista convidado

Claudio Burian Wanderley

Este caderno é resultado dos conhecimentos gerados pelas pesquisas realizadas no âmbito do **Programa Cátedras Brasil**, desenvolvido com o objetivo de selecionar projetos de pesquisa que gerem subsídios para o entendimento ou enfrentamento à pandemia de Covid-19 pela Administração Pública. A presente publicação é uma das entregas previstas no Edital nº 69 de 2020.

Conheça os autores



Geraldo Sandoval Góes

Autor



Geraldo Sandoval Góes é Doutor em Economia pela UnB. É Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental, lotado na Diretoria de Estudos e Políticas Macroeconômicas (DIMAC) do Ipea. Como gestor, teve passagem por diversas instituições públicas. Como professor e pesquisador, escreveu livros e artigos e recebeu o IV Prêmio em Economia e Mercado Florestal.



Luan Borelli

Coautor



Luan Borelli é economista pelo Ibmecc e Assistente de Pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), atuando na Diretoria de Estudos e Políticas Macroeconômicas (DIMAC). Já escreveu e publicou por importantes instituições, dentre as quais pode-se citar, além do Ipea, o Centre for Economic Policy Research (CEPR) e o portal de políticas públicas VoxEU.

Expediente



**Escola Nacional de
Administração Pública – Enap**

Presidente

Diogo Costa

Diretora-Executiva

Rebeca Loureiro de Brito

Diretora de Altos Estudos

Diana Coutinho

Diretor de Educação Executiva

Rodrigo Torres

**Diretor de Desenvolvimento
Profissional**

Paulo Marques

Diretora de Inovação

Bruna Santos

Diretora de Gestão Interna

Alana Biagi Lisboa

Revisão

Renata Mourão

**Projeto gráfico e
edição eletrônica**

Amanda Moreira

Letícia Lopes

A Escola Nacional de Administração Pública (Enap) é uma escola de governo vinculada ao Ministério da Economia (ME).

Tem como principal atribuição a formação e o desenvolvimento permanente dos servidores públicos. Atua na oferta de cursos de mestrados profissionais, especialização lato sensu, cursos de aperfeiçoamento para carreiras do setor público, educação executiva e educação continuada.

A instituição também estimula a produção e disseminação de conhecimentos sobre administração pública, gestão governamental e políticas públicas, além de promover o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias de gestão que aumentem a eficácia e a qualidade permanente dos serviços prestados pelo Estado aos cidadãos. Para tanto, desenvolve pesquisa aplicada e ações de inovação voltadas à melhoria do serviço público.

O público preferencial da Escola são servidores públicos federais, estaduais e municipais. Sediada em Brasília, a Enap é uma escola de governo de abrangência nacional e suas ações incidem sobre o conjunto de todos os servidores públicos, em cada uma das esferas de governo.

G598i Góes, Geraldo Sandoval

Implicações da descoordenação entre as esferas federal e estadual na condução de políticas públicas de combate à pandemia da Covid-19 no Brasil / Geraldo Sandoval Góes, Luan Borelli. -- Brasília: Enap, 2021.

67 p. : il. -- (Cadernos Enap, 85; Coleção: Covid-19 Fast Track)

Inclui bibliografia

ISSN: 0104-7078

1. Políticas Públicas. 2. Saúde Pública. 3. Administração Pública Federal. 4. Administração Pública Estadual. 5. Pandemia - Brasil. 6. Governança. I. Título. II. Borelli, Luan.

CDU 364:616-036.21(81)

Bibliotecária: Tatiane de Oliveira Dias – CRB1/2230



Enap, 2021

Este trabalho está sob a Licença Creative Commons – Atribuição: Não Comercial – Compartilha Igual 4.0 Internacional

As informações e opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Escola Nacional de Administração Pública (Enap). É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.



Escola Nacional de Administração Pública (Enap)

Diretoria de Altos Estudos

Coordenação-Geral de Pesquisa

SAIS – Área 2-A – 70610-900 — Brasília-DF, Brasil

CÁTEDRAS FAST-TRACK

Editorial

O ano de 2021 começou com a boa novidade das vacinas, permitindo às pessoas a revisão de suas expectativas quanto ao futuro. Expectativas são baseadas em informações e, para tomar boas decisões, é preciso que os indivíduos estejam bem informados.

A pesquisa científica, por exemplo, é um insumo informacional útil para gestores públicos e privados. Contudo, como ficou evidente neste último ano, a pesquisa leva tempo: seus resultados nem sempre são imediatos. Trata-se de um empreendimento árduo, mas necessário, principalmente quando a pesquisa tem por objetivo auxiliar na formulação de políticas públicas em um período tão atípico como o da pandemia de Covid-19.

É neste contexto que, em 2020, de forma inédita em sua história pela agilidade com a qual foi implementado, a Enap lançou uma chamada pública para seleção de projetos de pesquisas que gerem subsídios para o entendimento ou enfrentamento à pandemia de Covid-19 pela Administração Pública. Ficou conhecido como o edital Cátedras Covid-19 e os dez projetos de pesquisa selecionados foram concluídos até o final do ano de 2020.

O trabalho de Monique Menezes e coautores, sob a ótica das chamadas capacidades estatais, encontra uma heterogeneidade nas políticas públicas adotadas nas capitais brasileiras. A análise de documentos (conteúdo e discurso) mostrou uma articulação entre governos municipais e

estaduais. Além disso, um apanhado de “boas” e “más” práticas no combate à pandemia, por capitais brasileiras, é um interessante subproduto deste trabalho.

O modelo epidemiológico Suscetíveis-Infectedos-Recuperados (SIR) microfundamentado foi usado por Geraldo Sandoval Goés e Luan Borelli para verificar o impacto da pandemia em cinco estados brasileiros: São Paulo, Amazonas, Ceará, Rio de Janeiro e Pernambuco. O objetivo foi comparar dois cenários: um no qual todos os estados seguem uma mesma política de contenção do vírus e outro no qual cada um adota uma política própria, conforme suas particularidades. As evidências das simulações favorecem a adoção de políticas públicas que respeitem as peculiaridades de cada estado.

Por meio de uma extensa base de dados municipais, Janaina Lopes Pereira Peres e coautoras encontram seis clusters de municípios espalhados de forma nada trivial pelo território brasileiro. As autoras criaram o termo comorbidade social para designar o “acúmulo de patologias sociais em um determinado território”, o que serviu de base teórica para seu trabalho. A pesquisa mostra evidências de que vários municípios das regiões Norte e Nordeste apresentavam grande quantidade de comorbidades sociais e também um desempenho ruim na pandemia (em termos de casos e óbitos por Covid-19).

Durante os primeiros meses da pandemia, vários governos estaduais buscaram um papel ativo na busca por soluções científicas. Este protagonismo foi detalhadamente estudado pela bolsista Silmary de Jesus Gonçalves Alvim, com um exaustivo e inédito levantamento de legislações com foco em políticas públicas estaduais de Ciência, Tecnologia e de Inovação (CT&I), no qual foram identificadas 118 políticas estaduais voltadas ao combate à Covid-19, sendo 19% delas caracterizadas pela parceria com o governo federal. Estimou-se que estes projetos movimentaram cerca de R\$ 231 milhões em 2020.

O bolsista Anderson Castro Soares de Oliveira e coautora Lia Hanna Morita utilizaram dados diários do Ministério da Saúde (27 de março a 3 de outubro de 2020) e trabalharam com aproximadamente 1,5 milhão de observações utilizadas em vários modelos espaço-temporais (Poisson, Poisson Hurdle, Poisson Inflado de Zero, Binomial Negativa, Binomial Negativa Hurdle e Binomial Negativa Inflada de Zeros). O painel para a visualização dos resultados é outro subproduto desta pesquisa (<https://lecdufmt.shinyapps.io/COVID/>) e, já na 40ª semana epidemiológica, apontava para uma preocupante situação no estado do Amazonas.

Rafael Mesquita Pereira e seus coautores estudaram o impacto da pandemia no grupo de trabalhadores com mais de 60 anos de idade no período compreendido entre fevereiro e agosto de 2020. Em 18 de junho de 2020, a portaria conjunta do Ministério da Economia, da Saúde e da Agricultura, Pecuária e Abastecimento reconheceu a necessidade de se atribuir tratamento diferenciado geral aos trabalhadores do grupo de risco. O resultado foi uma diminuição nas horas trabalhadas por parte dos funcionários públicos nesta faixa etária, fato não observado no caso dos trabalhadores na mesma faixa etária no setor. Os autores ressaltaram os efeitos diferenciados da legislação que permitiu a funcionários públicos reduzirem suas jornadas de trabalho sem redução de rendimentos, ao passo que os trabalhadores do setor privado, em sua maioria, não puderam evitar trabalho presencial visando minimizar as perdas em seus rendimentos.

O setor de transporte público municipal é alvo do trabalho de Gabriel Pabst. Segundo o autor, o setor já apresentava um déficit financeiro (projetado pelo autor em R\$ 8 bilhões no final de 2020) e a pandemia gerou um conjunto de medidas restritivas de circulação diminuindo a quantidade de passageiros em circulação. Este é um setor cuja regulação carece de aperfeiçoamentos, como bem discute o pesquisador.

O trabalho infantil é objeto da pesquisa de Thauan Patrello e Ruth Knaak. Por meio de entrevistas envolvendo autoridades do setor no estado do Espírito Santo, os autores especulam que mudanças na política educacional seriam importantes para combater o trabalho infantil, indicando o ensino integral como exemplo de política pública interessante. Outra proposta apresentada pelos autores envolve a

garantia de algum tipo de auxílio emergencial às famílias das crianças e o reforço às medidas tradicionais de combate ao trabalho infantil.

Nos primeiros meses da pandemia, ainda em 2020, houve um debate importante acerca dos métodos de rastreamento de pessoas contaminadas - o chamado contact tracing - a partir de políticas adotadas em alguns países. Ferramentas criadas para o rastreamento levantam questões importantes sobre a privacidade dos dados dos cidadãos. No caso brasileiro, esta discussão encontra eco na nova Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). A bolsista Letícia Lobato Anicet Lisboa fez um levantamento das políticas de rastreamento dos Estados Unidos, da União Europeia, da Alemanha, do Reino Unido e de Cingapura. As lições extraídas das políticas públicas destes países podem promover melhorias no arcabouço das políticas de saúde com base em evidências.

O pesquisador Júlio César Andrade de Abreu e coautores estudaram o uso de business intelligence (BI) pelos poderes públicos municipais no estado do Rio de Janeiro. Foi apontado que 21 municípios cariocas (aproximadamente 22.8% do total) fizeram uso de alguma ferramenta de BI no acompanhamento da evolução da Covid-19. Este baixo uso é preocupante, não apenas pelo cenário da pandemia no país. Trata-se, afinal, de uma ferramenta de gestão estratégica que pode - e deve - ter seu uso difundido na administração pública, visando informar o cidadão com o máximo de transparência possível dentro do marco da nova LGPD.

A pesquisa é um empreendimento fascinante. Cada projeto de pesquisa aqui resumido abordou o problema da pandemia no território brasileiro sob diferentes óticas teóricas, por meio do uso de abordagens empíricas distintas. A leitura mais atenta do conjunto destes trabalhos mostrará a emergência de alguns consensos e também novas hipóteses a serem pesquisadas.

Diana Coutinho

Diretora de Altos Estudos da Enap

Sumário

Executivo

O objetivo deste trabalho é investigar as potenciais consequências da descoordenação entre as esferas federal e estadual na determinação das medidas de combate à pandemia da COVID-19 no Brasil. A fim de identificá-las, é aplicado o modelo SIR-macro proposto por Eichenbaum et al. (2020), em sua forma completa, a cinco estados selecionados por Borelli e Góes (2020), a saber, São Paulo (SP), Amazonas (AM), Ceará (CE), Rio de Janeiro (RJ) e Pernambuco (PE). O modelo SIR-macro estende o modelo epidemiológico clássico SIR (acrônimo para Suscetíveis, Infectados e Recuperados) proposto originalmente por Kermack e McKendrick (1927), incorporando a ele a interação entre as decisões econômicas e as taxas de infecção. Neste novo modelo estendido, as decisões dos agentes em abrir mão de consumo e de horas de trabalho reduzem, por um lado, a severidade da epidemia (medida em número total de mortes), mas agravam, por outro lado, o tamanho da recessão econômica dela resultante.

Uma importante característica desse modelo é que o seu equilíbrio competitivo não é socialmente ótimo. A população infectada pelo vírus não internaliza por completo o efeito de suas decisões de consumo e trabalho na disseminação do vírus. Para lidar com essas externalidades infecciosas, as autoridades públicas podem adotar políticas de contenção que reduzam o consumo e as horas trabalhadas pelos agentes. Reduzindo as interações econômicas dos agentes, essas políticas de contenção exacerbam, por um lado, as recessões, mas reduzem, por outro, a quantidade de mortes resultante da epidemia.

Na determinação dessas políticas de contenção, o presente trabalho considera dois cenários distintos: um de coordenação e outro de descoordenação. No cenário coordenado, as autoridades públicas adotam trajetórias de políticas de contenção distintas para os estados selecionados, determinadas de forma descentralizada, com base em suas características particulares. No cenário descoordenado, todos os estados adotam uma única trajetória comum de políticas de contenção, determinada de forma centralizada, com base em características de nível federal, de maneira completamente descoordenada das realidades próprias e particulares de cada estado.

O trabalho inicia analisando exclusivamente as trajetórias de políticas de contenção otimizadas para esses dois diferentes cenários. Os resultados mostram que a trajetória descoordenada erra em relação às trajetórias coordenadas em nível estadual em duas principais dimensões: em primeiro lugar, prescrevendo uma elevação das taxas de contenção até níveis inferiores ao ideal para todos os cinco estados considerados; e, em segundo lugar, prescrevendo tanto o aperto quanto o relaxamento dessas medidas com grande atraso em relação ao momento ideal, prescrito pelo cenário coordenado, para cada um dos cinco estados considerados.

Observa-se também que os erros de condução de políticas decorrentes da descoordenação demonstram-se notadamente maiores para alguns estados, enquanto menores para outros. Em particular, os estados que menos sofreriam erros de condução de política em decorrência da descoordenação seriam os estados do Rio de Janeiro (RJ) e de São Paulo (SP), enquanto os que mais sofreriam seriam os estados do Ceará (CE), do Amazonas (AM) e de Pernambuco (PE).

Tendo constatado que uma política de contenção determinada em nível federal, descoordenada com as particularidades estaduais, representaria erros de condução de política em nível estadual, prossegue-se para a verificação das implicações objetivas, epidêmicas e macroeconômicas, que poderiam resultar da descoordenação. Com esse objetivo, são construídas análises contrafactuais em que os estados adotam, em vez de trajetórias ótimas de taxas de contenção coordenadas computadas com base em suas próprias características, a trajetória da taxa de contenção descoordenada, computada desconsiderando as particularidades dos estados.

Inicialmente, é efetuada uma análise qualitativa dos resultados. Verifica-se que a adoção de uma política de combate à epidemia descoordenada em relação às particularidades estaduais implica, segundo o modelo utilizado, consequências qualitativas bastante gerais em relação ao cenário coordenado, entre elas:

1. maiores picos das populações infectadas, ocorrendo mais cedo;
2. maiores picos das taxas de mortalidade, ocorrendo também mais cedo;
3. recessões econômicas menos profundas, porém mais prolongadas e de mais lenta recuperação, com a descoordenação potencializando, ainda, a ocorrência de recuperações em formato de 'U' ou 'W', em detrimento das recuperações em formato de 'V', características do cenário coordenado;
4. menor quantidade de infectados ao fim da epidemia, porém com maior quantidade de mortes acumuladas.

Ainda que os resultados qualitativos tenham se demonstrando bastante similares entre os estados, especialmente no que tange à direção dos efeitos, quando analisados quantitativamente, em maior profundidade, apresentam magnitudes bastante distintas.

Na análise quantitativa dos resultados, os efeitos gerais da descoordenação mostram-se substancialmente mais graves nos estados do Amazonas (AM), de Pernambuco (PE) e do Ceará (CE), quando comparados aos estados de São Paulo (SP) e do Rio de Janeiro (RJ). Essa heterogeneidade nos efeitos se mostra particularmente mais acentuada quando analisada em relação ao número total de mortes resultante das epidemias, indicando que as principais consequências da descoordenação sobre os estados mais vulneráveis são de caráter, acima de tudo, sanitário.

A respeito de todos esses resultados, cabem ao menos dois *caveats*. Em primeiro lugar, evidente é que existem nuances difíceis de serem captadas, uma vez que a descoordenação pode se dar em vários níveis e de diferentes formas. Com efeito, a forma como a descoordenação dos entes estaduais e federais foi modelada no presente trabalho não é a única forma possível de endereçar o problema. Não obstante tendo nosso trabalho apresentado dois cenários que refletem extremos opostos, argumenta-se que, por meio dos resultados, tornou-se possível avaliar os potenciais máximos das consequências da descoordenação, ao menos na forma em que foi considerada neste trabalho, e como esses potenciais difeririam entre estados do país de naturezas bastante distintas.

Em segundo lugar, um conjunto limitado de apenas cinco estados brasileiros foi considerado para a obtenção dos resultados, tendo sido as conclusões gerais sobre os efeitos da descoordenação a partir daí extrapoladas. Quanto a esse aspecto, argumenta-se que os cinco estados selecionados abarcam um domínio de diferentes características demográficas, geográficas, sociais e econômicas amplo o suficiente para permitir a generalização dos resultados para os demais estados do país, ao menos à luz do modelo considerado.

Efetuada essas ressalvas, os resultados do trabalho alertam para a importância da coordenação das autoridades públicas, responsáveis pela determinação das políticas de combate à epidemia, com as particularidades do país em nível estadual. Na impossibilidade de perfeita coordenação, nossos resultados alertam para a importância de maior atenção aos estados de maior grau de idiosincrasia – isto é, de características mais distantes da realidade agregada federal –, que, ao que indicam as evidências apresentadas, seriam os mais afetados pela descoordenação. Os resultados concluem, portanto, como lição, que a desconsideração da importância da coordenação pode acarretar substancial agravamento das consequências econômicas e, principalmente, sanitárias resultantes da pandemia. Considera-se que esses resultados podem ser válidos não apenas para a ocasião da pandemia da Covid-19, como também para eventuais crises epidêmicas futuras, sejam elas de maior ou de menor porte.



Se quiser, **clique aqui** para acessar o documento do **Sumário Executivo separado. Compartilhe!**

Resumo

Neste trabalho nós estudamos as potenciais implicações da descoordenação das esferas federal e estadual na condução de políticas públicas de combate à pandemia da Covid-19 no Brasil. Aplicando o modelo SIR-macro, nós construímos dois cenários distintos para cinco estados brasileiros selecionados: um em que as políticas de contenção adotadas são perfeitamente coordenadas com o âmbito estadual e outro em que são totalmente descoordenadas, desconsiderando por completo as características estaduais. Nossos resultados apontam, como principais consequências gerais da descoordenação, quarentenas menos rígidas, porém mais prolongadas, que resultam maiores taxas de mortalidade e, conseqüentemente, maiores quantidades de mortes acumuladas ao fim da epidemia. Do ponto de vista macroeconômico, a descoordenação implica recessões menos profundas, porém mais duradouras, potencializando recuperações em formato de ‘U’ ou ‘W’, em detrimento de recuperações em ‘V’, características do cenário coordenado. Dentre os estados selecionados, os efeitos gerais da descoordenação demonstraram-se substancialmente mais graves nos estados do Amazonas (AM), de Pernambuco (PE) e do Ceará (CE), quando comparados aos estados de São Paulo (SP) e do Rio de Janeiro (RJ).

Classificação: JEL: E1, I1, H0

Palavras-chave: epidemia, Covid-19, estados, coordenação, políticas de contenção, recessões, modelo SIR-macro.

Sumário

1.

Introdução

Pg. 12

2.

O modelo

Pg. 16

3.

Dados e calibragem

Pg. 24

4.

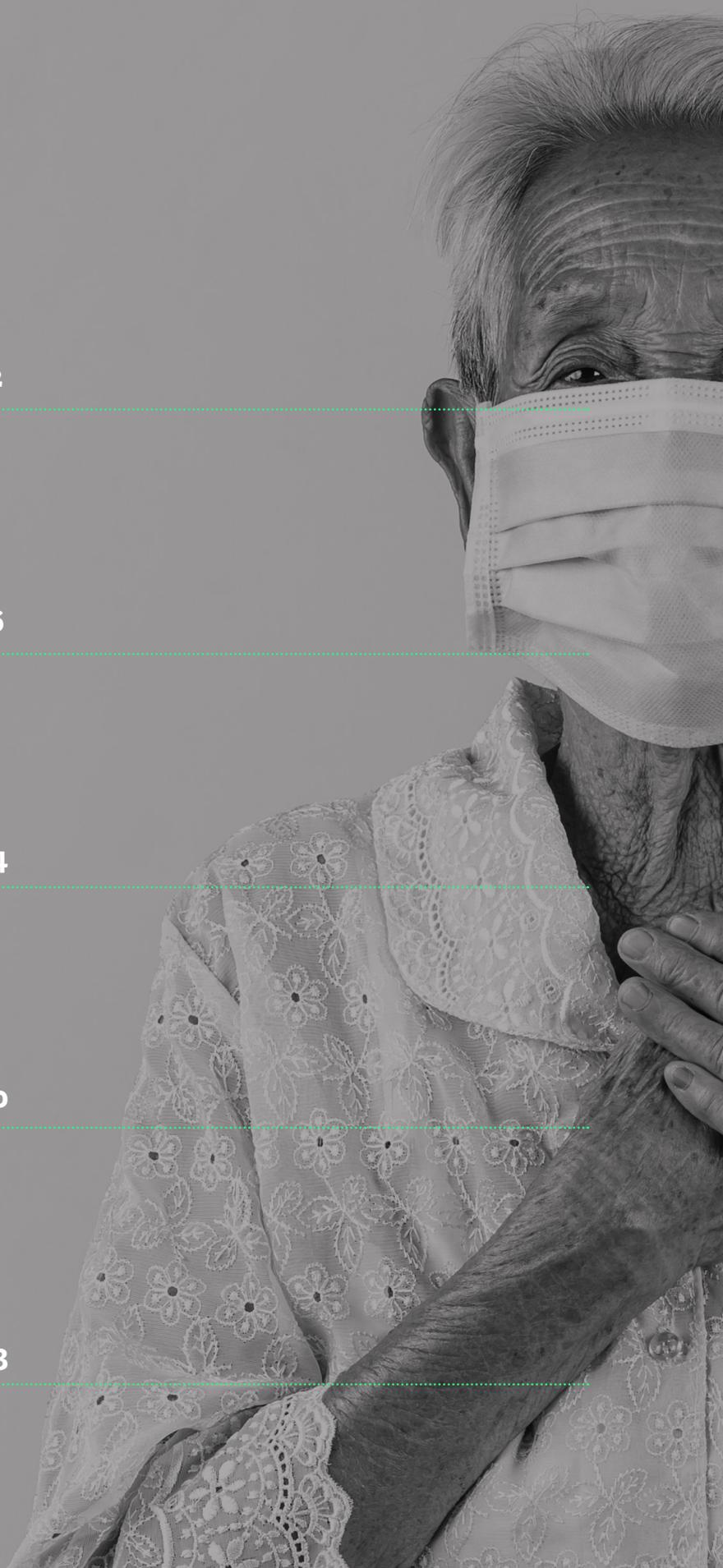
Resultados

Pg. 30

5.

Conclusão

Pg. 53







1. Introdução

Conforme o vírus da Covid-19 se espalha pelo território brasileiro, autoridades de todo o país enfrentam o desafio de entender e gerenciar a epidemia que assola o país. Quando comparado a outros países, esse desafio se mostra ainda maior no Brasil, dada a sua dimensão continental e a heterogeneidade das características de seus diversos estados.

Em recente estudo para o Brasil, Borelli e Góes (2020) apresentam evidências de que as características particulares de cada estado implicam diferenças relevantes em suas dinâmicas epidêmicas, nas políticas ótimas de contenção a serem por eles adotadas, nos efeitos da adoção dessas políticas e na severidade das recessões econômicas resultantes das epidemias. Diante desses resultados, os autores ressaltam a importância da análise desagregada e descentralizada do país, em nível estadual, para a formulação de políticas coordenadas de combate à epidemia. Conjecturam, ainda, que a adoção de políticas unificadas e centralizadas, descoordenadas da realidade dos estados, para um país das dimensões do Brasil, poderia provocar reações desproporcionais, epidemiológicas e macroeconômicas, nas

esferas subnacionais. Ainda que tenham exposto essa conjectura, Borelli e Góes (2020) não chegaram a tratá-la em maior profundidade.

É buscando suprir essa lacuna que o presente trabalho se insere na literatura com o objetivo de investigar as potenciais consequências da descoordenação entre as esferas federal e estadual na determinação das medidas de combate à pandemia da Covid-19 no Brasil. A fim de identificá-las, nós aplicamos o modelo SIR-macro proposto por Eichenbaum *et al.* (2020), em sua forma completa, aos cinco estados selecionados por Borelli e Góes (2020), a saber, São Paulo (SP), Amazonas (AM), Ceará (CE), Rio de Janeiro (RJ) e Pernambuco (PE).

O modelo SIR-macro estende o modelo epidemiológico clássico SIR (acrônimo para Suscetíveis, Infectados e Recuperados), proposto originalmente por Kermack e McKendrick (1927), incorporando um importante fator com potencial de afetar significativamente a dinâmica das epidemias: a interação entre as decisões econômicas e as taxas de infecção. Nesse novo modelo estendido, as decisões dos agentes em abrir mão de consumo e de horas de trabalho reduzem, por um lado, a severidade da epidemia (medida em número total de mortes), mas agravam, por outro lado, o tamanho da recessão econômica dela resultante.

Essa extensão não apenas contribui para resultados mais precisos da evolução da epidemia, como também permite a análise dos seus efeitos sobre agregados macroeconômicos. No modelo SIR-macro, a ocorrência de uma epidemia tem efeito tanto sobre a demanda quanto sobre a oferta agregada da economia. O efeito sobre a oferta ocorre pois, como a epidemia expõe os trabalhadores ao vírus em seus ambientes de trabalho, estes reagem ao risco de serem contaminados reduzindo horas de trabalho ofertadas. Analogamente, o efeito sobre a demanda ocorre pois, como a epidemia expõe os consumidores ao vírus nos ambientes de consumo, estes reagem ao risco de serem contaminados reduzindo suas atividades de consumo. Os efeitos sobre a oferta e a demanda agregada atuam conjuntamente gerando uma grande e persistente recessão.

As diferentes características particulares dos cinco estados selecionados foram incorporadas por meio da mesma estratégia de calibragem utilizada por Borelli e Góes (2020) para os valores dos parâmetros e variáveis do modelo. A calibragem permite que os resultados incorporem diferenças interestaduais relativas às seguintes características: i) tamanho da população; ii) renda *per capita*; iii) tempo médio dedicado ao trabalho; iv) tempo médio no transporte; v) tempo médio dedicado a afazeres domésticos; vi) quantidade média de pessoas por residência; vii) quantidade de pessoas ocupadas na força de trabalho; viii) quantidade de

estudantes; e ix) taxas de fatalidade estimadas com a evolução da epidemia até o momento da pesquisa.

Uma importante característica do modelo SIR-macro é que o seu equilíbrio competitivo¹ não é socialmente ótimo. A população infectada pelo vírus não internaliza por completo o efeito de suas decisões de consumo e trabalho na disseminação do vírus. Para lidar com essas externalidades infecciosas, as autoridades públicas podem adotar políticas de contenção que reduzam o consumo e as horas trabalhadas pelos agentes. Reduzindo as interações econômicas dos agentes, essas políticas de contenção exacerbam por um lado as recessões, mas reduzem, por outro, a quantidade de mortes resultante da epidemia. É por meio dessas políticas de contenção que os cenários de coordenação e descoordenação considerados para a obtenção dos resultados deste trabalho são construídos.

Nós consideramos dois cenários distintos: um de coordenação perfeita e outro de descoordenação completa. O **cenário coordenado** é caracterizado por trajetórias de políticas ótimas de contenção computadas separadamente para cada estado, de forma descentralizada, refletindo o cenário em que as autoridades do país coordenam suas tomadas de decisão considerando as realidades estaduais e, assim, diferenciando as políticas de contenção de acordo com suas diferentes características particulares.

Já o **cenário descoordenado** é caracterizado por uma única trajetória de políticas ótimas de contenção, computada de forma centralizada para o Brasil como um todo e adotada em comum por todos os estados. Esse cenário reflete, portanto, o extremo oposto do cenário coordenado, ou seja, um cenário em que as autoridades desconsideram por completo as características particulares dos estados, conduzindo suas tomadas de decisão de maneira totalmente descoordenada com as realidades estaduais do país.

Nossos resultados apontam, como principais consequências gerais da descoordenação, quarentenas menos rígidas, porém mais prolongadas, que resultam em maiores taxas de mortalidade e, conseqüentemente, maiores quantidades de mortes acumuladas ao fim da epidemia. Do ponto de vista macroeconômico, a descoordenação implica recessões menos profundas, porém mais prolongadas, potencializando recuperações em 'U' ou em 'W', em detrimento de recuperações em 'V', características do cenário coordenado.

.....
¹ Equilíbrio associado ao cenário em que nenhuma medida de contenção é adotada pelas autoridades públicas.

Em particular, no que diz respeito aos estados selecionados para o estudo, nossos resultados apresentam, ainda, evidências de que os efeitos gerais da descoordenação são substancialmente mais graves nos estados do Amazonas (AM), de Pernambuco (PE) e do Ceará (CE), quando comparados aos estados de São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ).²

O artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o modelo SIR-macro em sua versão completa, em exposição adaptada de Eichenbaum *et al.* (2020). Já a seção 3 apresenta a estratégia de calibragem utilizada para o modelo, bem como os valores utilizados para os seus parâmetros e variáveis nos cenários coordenado e descoordenado. A seção 4, por sua vez, apresenta os resultados, que são divididos em três subseções: na subseção 4.1, são apresentados e analisados apenas os resultados para as trajetórias de taxas de contenção otimizadas para os cenários coordenado e descoordenado. Na subseção 4.2, prossegue-se apresentando os resultados epidemiológicos e macroeconômicos da implementação dessas trajetórias e avaliando qualitativamente as implicações da adoção da trajetória associada ao cenário descoordenado, relativamente aos resultados do cenário coordenado. Finalmente, na subseção 4.3, termina-se por avaliar esses resultados quantitativamente em maior profundidade. A seção 5 finaliza o trabalho, trazendo as principais conclusões.

.....
² Vale ressaltar que, ainda que os resultados do presente trabalho tenham sido suficientes para apresentar evidências que explicitam tais diferenças, não o foram para identificar as *causas* destas diferenças.

2.

O modelo





2. O modelo

Nas seções subsequentes, nós descrevemos, com algumas adaptações, a versão completa do modelo SIR-macro conforme exposta em Eichenbaum *et al.* (2020). As adaptações foram necessárias pois, em Eichenbaum *et al.* (2020), a versão completa do modelo é construída ao longo das seções do artigo, com a inclusão gradativa de extensões ao modelo SIR-macro básico. Como, no presente trabalho, o interesse está apenas na versão completa do modelo, nós adaptamos a exposição para apresentá-lo em uma única seção. A versão completa do modelo contempla três principais características: a taxa de mortalidade endógena como função da população infectada; a possibilidade do descobrimento de tratamentos efetivos, que curem a população infectada; e a possibilidade do descobrimento de vacinas, que imunizem a população suscetível.

2.1 O arcabouço econômico e a economia pré-infecção

A população da economia é representada por um *continuum* de agentes de medida igual a 1 que, *ex ante*, são idênticos.

Esses agentes maximizam a função objetivo

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} \beta_t u(c_t, n_t) \tag{1}$$

onde $\beta \in (0,1)$ denota o fator de desconto intertemporal; e c_t e n_t denotam o consumo e as horas trabalhadas, respectivamente. Por simplicidade, assume-se a forma funcional da utilidade como

$$u(c_t, n_t) = \ln c_t - \frac{\theta}{2} n_t^2. \tag{2}$$

A restrição orçamentária do agente representativo é

$$(1 + \mu_t)c_t = w_t n_t + \Gamma_t \tag{3}$$

onde w_t denota o salário real; μ_t a taxação sobre o consumo; e Γ_t as transferências *lump sum* recebidas do governo. Assim como em Eichenbaum *et al.* (2020), essa taxa sobre o consumo, μ_t , é, aqui, entendida como uma *proxy* para as políticas de contenção, conduzidas com o objetivo de reduzir interações sociais. Por essa razão, doravante referir-se-á a esse parâmetro como taxa de contenção.³ Sua lógica segue, de forma análoga, a lógica da modelagem de controles de capitais proposta por Farhi e Werning (2012): todas as receitas provenientes das taxações são reembolsadas às famílias por meio das transferências *lump sum*, Γ_t . Desse modo, sua função principal no modelo torna-se evitar as atividades de consumo.⁴

³ As taxas de contenção são *proxies* para as **medidas de contenção** ou **políticas de contenção** adotadas pelas autoridades públicas. Assim, quando nos referirmos a aumentos ou flexibilizações das **políticas de contenção** ou **medidas de contenção**, estamos nos referindo, indiretamente, à luz do modelo, a aumentos ou flexibilizações das **taxas de contenção**. Todos esses termos, para fins práticos, são utilizados neste trabalho como sinônimos.

⁴ Conforme apontam Eichenbaum *et al.* (2020, p. 22), uma possível objeção a essa forma de modelagem das políticas de contenção é que elas são modeladas como uma taxa sobre o consumo. A fim de contornar essa objeção, Eichenbaum *et al.* (2020) formulam uma forma alternativa de modelá-las: considerando-as como um problema de planejamento em que o governo central escolhe, diretamente, as quantidades de consumo e horas de trabalho dos agentes, sob a restrição de que estes possuem a mesma alocação, independentemente de seus estados de saúde. Os autores mostram que a solução desse problema "mais realista" é muito similar à solução do problema original – considerando a taxa de contenção como uma taxa

A condição de primeira ordem para o problema do agente representativo é

$$(1 + \mu_t)\theta n_t = c_t^{-1}w_t. \tag{4}$$

No modelo, há ainda um *continuum* de firmas representativas de medida unitária que atuam competitivamente produzindo bens de consumo (C_t) e usando horas de trabalho (N_t) impulsionadas por tecnologia:

$$C_t = AN_t. \tag{5}$$

As firmas representativas escolhem o quanto de horas de trabalho utilizar de modo a maximizar os seus lucros no tempo t , Π_t :

$$\Pi_t = AN_t - w_tN_t \tag{6}$$

A restrição orçamentária do governo é:

$$\mu_t c_t = \Gamma_t. \tag{7}$$

No equilíbrio, $n_t = N_t$ e $c_t = C_t$.

2.2 O arcabouço epidemiológico e o início da epidemia

Com a eclosão da epidemia, a população é dividida em quatro grupos: suscetíveis, infectados, recuperados e falecidos. As pessoas que ainda não contraíram a doença são classificadas como suscetíveis. As pessoas que a contraíram e ainda não se recuperaram são classificadas como infectadas, enquanto as que a contraíram e se curaram, como recuperadas. Finalmente, as pessoas que a contraíram e para ela sucumbiram são classificadas como falecidas. As frações da população em cada um desses quatro grupos, no tempo t , são denotadas por S_t , I_t , R_t e D_t , respectivamente. O número de novos infectados em t é denotado por T_t .⁵

Indivíduos suscetíveis podem ser infectados de três maneiras: i) enquanto consomem; ii) enquanto trabalham; ou iii) de outras formas não relacionadas diretamente ao consumo ou ao trabalho, como em transporte, em encontros sociais, em casa ou simplesmente pelo contato com superfícies contaminadas.

O número de novos infectados que resulta das atividades de consumo é dado por

sobre o consumo –, não havendo, portanto, diferenças qualitativas substanciais que justifiquem descartar tal abordagem.

⁵ Importante notar que, conforme será ressaltado adiante, a população inicial (ou seja, pré-epidêmica) é normalizada em 1. Desse modo, o número de novos infectados em t , T_t , equivale à fração da população inicial (pré-epidêmica) infectada em t .

$\pi_1(S_t C_t^s)(I_t C_t^i)$. Os termos $S_t C_t^s$ e $I_t C_t^i$ representam os gastos totais de consumo dos indivíduos suscetíveis e infectados, respectivamente. O parâmetro π_1 reflete tanto a quantidade de tempo utilizada fazendo compras quanto a probabilidade de infecção resultante da atividade de consumo.

O número de novos infectados que resulta das atividades de trabalho é dado por $\pi_2(S_t N_t^s)(I_t N_t^i)$. Os termos $S_t N_t^s$ e $I_t N_t^i$ representam o total de horas trabalhadas pelos indivíduos suscetíveis e infectados, respectivamente. O parâmetro π_2 reflete a probabilidade de infecção resultante das atividades de trabalho.

O número de outros tipos de encontro, não relacionados a consumo e trabalho, entre suscetíveis e infectados é $S_t I_t$. O número de novos infectados resultante desses encontros é dado por $\pi_3 S_t I_t$. O parâmetro π_3 reflete a probabilidade de infecção resultante das atividades não relacionadas ao consumo ou ao trabalho.

O número total de novos infectados é, então, dado por:⁶

$$T_t = \pi_1(S_t C_t^s)(I_t C_t^i) + \pi_2(S_t N_t^s)(I_t N_t^i) + \pi_3 S_t I_t \tag{8}$$

O número de infectados em $t + 1$ é igual ao número de indivíduos infectados em t (I_t) mais o número de novos infectados (T_t) menos o número de infectados que se recuperaram ($\pi_r I_t$) e o número de infectados que morreram ($\pi_d I_t$):

$$I_{t+1} = I_t + T_t - (\pi_r + \pi_d)I_t, \tag{9}$$

onde π_r é a taxa de indivíduos recuperados da infecção; e π_d é a taxa de mortalidade, ou seja, a probabilidade de um infectado morrer. Para incorporar o efeito da redução gradual da capacidade do sistema de saúde sobre a taxa de mortalidade, essa probabilidade é modelada como uma função convexa de uma fração κ da população infectada, de modo a permitir que a taxa de mortalidade evolua, ao longo do tempo, quadraticamente em função da população infectada:

$$\pi_{dt} = \pi_d + \kappa I_t^2. \tag{10}$$

A convenção temporal da equação (9) é a seguinte: interações sociais acontecem no início do período, momento em que indivíduos suscetíveis e infectados se encontram. Então mudanças no estado de saúde não relacionados com as interações sociais (recuperações e mortes) ocorrem. No fim do período,

⁶ É interessante notar que o modelo SIR canônico de Kermack e McKendrick (1927) é um caso especial do modelo SIR-macro, no qual a propagação da doença não é relacionada com a atividade econômica. Esse caso é caracterizado pelos valores paramétricos $1=2=0$.

finalmente, as consequências das interações sociais se materializam e T_t indivíduos suscetíveis passam a ser classificados como infectados.

O número de recuperados em $t + 1$ é o número de recuperados em t (R_t) mais o número de infectados que acabaram de se recuperar ($\pi_r I_t$):

$$R_{t+1} = R_t + \pi_r I_t \tag{11}$$

Finalmente, o número de falecidos em $t + 1$ é o número de falecidos em t (D_t) mais o número de novas mortes $\pi_d I_t$:

$$D_{t+1} = D_t + \pi_d I_t \tag{12}$$

A população total evolui de acordo com a lei de movimento:

$$POP_{t+1} = POP_t - \pi_d I_t, \tag{13}$$

com $POP_0 = 1$.

Assume-se que, no tempo zero, uma fração ε de pessoas suscetíveis é infectada pelo vírus:⁷

$$I_0 = \varepsilon, \tag{14}$$

$$S_0 = 1 - \varepsilon. \tag{15}$$

Assume-se também que toda a população está ciente do número inicial de infectados e entende as leis de movimento que governam as dinâmicas da saúde. Isso significa que a população toma, como dados, agregados como $I_t C_t^i$ e $I_t N_t^i$.

Descreveremos agora o problema de otimização dos diferentes tipos de indivíduos da economia. A variável U_t^j denota a utilidade no tempo t de um agente do tipo j ($j = s, i, r$). A restrição orçamentária de um indivíduo do tipo j é

⁷ Em casos pandêmicos gerais, essas infecções iniciais costumam se dar por meio de exposições zoonóticas, isto é, o vírus é inicialmente transmitido diretamente de animais para humanos (e.g.: China, no contexto da Covid-19). Contudo, evidentemente, para os casos particulares das epidemias estaduais brasileiras relacionadas à Covid-19, essa fração de infecções iniciais se deu através de contatos entre indivíduos de cada estado com pessoas infectadas que, viajando, ingressaram nesses estados, fazendo com que estes, assim, importassem o vírus para dentro de seus territórios.



Infectados. A utilidade dos indivíduos infectados, U_t^i , é

$$U_t^i = u(c_t^i, n_t^i) + (1 - \delta_c)[(1 - \pi_r - \pi_d)\beta U_{t+1}^i + \pi_r \beta U_{t+1}^r] + \beta \delta_c U_{t+1}^r. \quad (22)$$

A expressão acima, para U_t^i , incorpora a hipótese comum em modelos macroeconômicos relacionados à saúde, de que o custo da morte é a renúncia da utilidade da vida.

O parâmetro δ_c representa a probabilidade, por período, de um tratamento efetivo que cura indivíduos infectados ser descoberto. Quando um tratamento como esse é descoberto, ele é aplicado à toda a população infectada no período da descoberta e nos períodos subsequentes, transformando todos os indivíduos infectados em recuperados. Como resultado, o número de novas mortes passa a ser zero.

As condições de primeira ordem para o consumo e as horas trabalhadas são:

$$u_1(c_t^i, n_t^i) = \lambda_{bt}^i (1 + \mu_t), \quad (23)$$

$$u_2(c_t^i, n_t^i) = -\phi^i w_t \lambda_{bt}^i \quad (24)$$

onde λ_{bt}^i é o multiplicador de Lagrange associado à restrição (16).

Recuperados. A utilidade dos indivíduos recuperados, U_t^r , é

$$U_t^r = u(c_t^r, n_t^r) + \beta U_{t+1}^r. \quad (25)$$

As condições de primeira ordem para o consumo e as horas trabalhadas são:

$$u_1(c_t^r, n_t^r) = \lambda_{bt}^r (1 + \mu_t), \quad (26)$$

$$u_2(c_t^r, n_t^r) = -w_t \lambda_{bt}^r \quad (27)$$

onde λ_{bt}^r é o multiplicador de Lagrange associado à restrição (16).

Restrição orçamentária do governo. A restrição orçamentária do governo é

$$\mu_t(S_t c_t^s + I_t c_t^i + R_t c_t^r) = \Gamma_t(S_t + I_t + R_t) \quad (28)$$

Equilíbrio. Em equilíbrio, cada indivíduo resolve seu problema de maximização e a restrição orçamentária do governo é satisfeita. Ademais, os mercados de bens e de trabalho se equilibram:

$$S_t C_t^s + I_t C_t^i + R_t C_t^r = AN_t, \quad (29)$$

$$S_t N_t^s + I_t N_t^i \phi^i + R_t N_t^r = N_t. \quad (30)$$

No Anexo A, é descrito o algoritmo proposto por Eichenbaum *et al.* (2020) para computar o equilíbrio.

3.

Dados e Calibragem





3. Dados e calibragem

Uma vez exposto o modelo, nós agora prosseguimos para o processo de calibragem de seus parâmetros. A estratégia será a mesma utilizada em Borelli e Góes (2020), tanto para a calibragem individual e descentralizada dos parâmetros para cada um dos cinco estados selecionados, representativa do cenário coordenado, quanto para a calibragem centralizada e unificada dos parâmetros para o Brasil como um todo, a ser utilizada para a construção da trajetória de políticas de contenção representativa do cenário descoordenado.⁸

Para calibrar o valor de κ , nós utilizamos as estimativas de taxas de fatalidade entre infectados (IFR – *Infection Fatality Rate*, em inglês) estimadas por Mellan *et al.* (2020) no *Report 21* da Imperial College. Nós calibramos o valor de κ para cada um dos cinco estados selecionados, no cenário coordenado, de modo que os picos das taxas de mortalidade no equilíbrio

⁸ No cenário coordenado, cada estado adotará a trajetória de políticas de contenção otimizada utilizando suas parametrizações particulares. No cenário descoordenado, todos os estados adotarão, em comum, a mesma trajetória de políticas de contenção, otimizada utilizando a parametrização do modelo para o Brasil como um todo, que desconsidera as particularidades estaduais. O modelo é, portanto, parametrizado também para o Brasil como um todo apenas com a finalidade de computar a trajetória de políticas ótimas “descoordenadas” (o que será feito na seção 4.1), a ser utilizada pelos estados na construção dos resultados para o cenário descoordenado.

competitivo adequem-se às taxas de fatalidade entre infectados estimadas, individualmente, pelo Imperial College, para cada um deles. Já para o Brasil como um todo, no cenário descoordenado, calibramos de modo que o pico da taxa de mortalidade no equilíbrio competitivo adequem-se à média de todas as taxas de fatalidade entre infectados estimadas pelo Imperial College para os estados brasileiros.

Apesar da taxa de mortalidade, π_{dt} , ser endógena ao modelo, ela ainda necessita de um valor inicial, π_d . Seguindo Rabelo e Soares (2020), determinamos esse valor como sendo 0,3%, tanto para os cinco estados selecionados, quanto para o Brasil como um todo. Esse valor foi obtido ponderando a taxa de mortalidade verificada na Coreia do Sul, país que havia efetuado o maior volume de testagens *per capita* até o momento da pesquisa de Rabelo e Soares (2020), pela pirâmide etária brasileira pré-epidêmica.

Procedendo para a estratégia de calibragem para os valores de π_1 , π_2 e π_3 , nós iniciamos, assim como é comum em estudos epidemiológicos, por adotar a premissa, utilizada em Eichenbaum *et al.* (2020), de que a importância relativa de diferentes modos de transmissão é semelhante entre diferentes doenças respiratórias. Ferguson *et al.* (2006) argumentam que, no caso da influenza, 30% das transmissões ocorreram em casa, 33% ocorreram em atividades comunitárias gerais e 37% ocorreram em escolas e locais de trabalho. Com base na premissa adotada, nós utilizamos essas porcentagens como base para a nossa calibragem.

Assim como em Eichenbaum *et al.* (2020), nós calibramos os valores de π_1 , π_2 e π_3 de modo a satisfazer o sistema:

$$\begin{aligned} \frac{\pi_1 C^2}{\pi_1 C^2 + \pi_2 N^2 + \pi_3} &= \alpha_1 \\ \frac{\pi_2 N^2}{\pi_1 C^2 + \pi_2 N^2 + \pi_3} &= \alpha_2 \\ \frac{\pi_3}{\pi_1 C^2 + \pi_2 N^2 + \pi_3} &= \alpha_3 \end{aligned} \tag{31}$$

onde C e N são o consumo e as horas trabalhadas no estado estacionário pré-infecção. Note que α_1 , α_2 e α_3 são as parcelas das transmissões que ocorrem no consumo, no trabalho e em outras atividades, respectivamente. Dessa forma, o problema de calibragem de π_1 , π_2 e π_3 é equivalente ao problema de calibragem

de α_1, α_2 e α_3 , pois, uma vez calibradas essas parcelas, bastará resolver o sistema para que sejam obtidos os valores de π_1, π_2 e π_3 . Note ainda que, como $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$, basta que duas das parcelas sejam calibradas para que a última seja obtida residualmente.

Por motivos de disponibilidade de dados, nós optamos por calibrar α_2 e α_3 e obter α_1 residualmente. Nós calibramos a parcela das transmissões que ocorrem no trabalho, α_2 , utilizando a mesma abordagem de Eichenbaum *et al.* (2020) e ponderando as quantidades de estudantes e trabalhadores de cada estado em 10 e 4, respectivamente. Esses pesos dizem respeito à quantidade média de contatos físicos por dia na escola e no trabalho, obtidas no trabalho de Lee *et al.* (2010). Para a quantidade total de trabalhadores, utilizou-se o número de pessoas de 14 anos ou mais de idade, na força de trabalho, ocupadas, obtido no IBGE⁹ e, para a quantidade total de estudantes, utilizou-se o número de estudantes de 4 anos ou mais de idade, obtido também no IBGE.¹⁰

Nós calibramos a parcela das infecções que ocorre em outras atividades, α_3 , utilizando dados sobre i) a proporção de horas diárias dedicadas aos cuidados de pessoas e/ou afazeres domésticos das pessoas de 14 anos ou mais de idade; ii) o número médio de pessoas por domicílio; e iii) o tempo habitual de deslocamento para o trabalho dos indivíduos, conjuntamente a algumas hipóteses de calibragem. Tendo os valores de α_2 e α_3 calibrados, nós obtemos residualmente o valor de α_1 e, com essas três parcelas calibradas, nós finalmente resolvemos o sistema (31) para obter π_1, π_2 e π_3 .¹¹

A população inicial do modelo é normalizada para 1. Para cada estado, no cenário coordenado, bem como para o Brasil como um todo, no cenário descoordenado, nós calibramos a população inicial de infectados ε para representar um número inicial de 100 infectados em $t = 0$. Essa população inicial é, então, calculada como sendo:

$$\varepsilon = \frac{100}{POP} \tag{32}$$

onde POP é a população residente estimada para o ano de 2019 para o estado em questão ou para o Brasil, obtida do IBGE.¹² Calibrando dessa forma, para

⁹ Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra), Tabela 4093.

¹⁰ Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra), Tabela 983.

¹¹ Maiores detalhes técnicos relativos à calibragem desses valores podem ser obtidos em Borelli e Góes (2020), seção 9.

¹² Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra), Tabela 6579.

cada estado individualmente e para o Brasil como um todo, foi possível captar e comparar o efeito dos diferentes tamanhos populacionais sobre as dinâmicas epidêmicas.

Assim como em Eichenbaum *et al.* (2020), nós calibramos os valores de A e θ de modo que, no estado estacionário pré-epidêmico, o agente representativo de cada estado selecionado, no cenário coordenado, e do Brasil como um todo, no cenário descoordenado, trabalhe a média de horas trabalhadas e receba a renda *per capita* de suas respectivas populações. Para isso, nós utilizamos a média de horas habitualmente trabalhadas por semana em todos os trabalhos das pessoas de 14 anos ou mais de idade e o rendimento médio mensal real domiciliar *per capita*, a preços médios do ano, para cada um dos estados e para o Brasil como um todo. O primeiro conjunto de dados foi obtido através do IBGE¹³ e o último da PNAD Contínua de 2019.

Para a taxa de desconto intertemporal da utilidade, β , tanto para os cinco estados selecionados, no cenário coordenado, quanto para o Brasil como um todo, no cenário descoordenado, nós utilizamos o mesmo valor calculado por Rabelo e Soares (2020), equivalente a um valor estatístico da vida de R\$ 2,9 milhões. Conforme indicado pelos autores, esse valor é baseado em estimativas recentes para o Brasil obtidas dos trabalhos de Ferrari *et al.* (2019) e de Rocha *et al.* (2019).

Novamente, assim como em Eichenbaum *et al.* (2020), nós calibramos, em ambos os cenários, o valor do parâmetro que controla a produtividade relativa da população infectada, ϕ^i , em 0,8. Esse valor é consistente com ideia de que indivíduos sintomáticos não trabalham e com a hipótese de que 80% da população infectada é assintomática, conforme aponta o *China Center for Disease Control and Prevention*.

Finalmente, em relação às probabilidades de descobrimento de tratamentos efetivos e vacinas, δ_c e δ_v , respectivamente, seguindo Eichenbaum *et al.* (2020), nós as calibramos para refletir um tempo médio de descoberta de um ano em ambos os cenários.

A Tabela 1 apresenta os dados utilizados para a calibragem e a Tabela 2 apresenta os parâmetros calibrados, tanto para os cinco estados selecionados, no cenário coordenado, quanto para o Brasil como um todo, no cenário descoordenado.

.....
¹³ Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra), Tabela 6373.

Tabela 1 | Principais valores utilizados para a calibragem dos parâmetros e variáveis de cada estado e do Brasil

Estado	SP	AM	CE	RJ	PE	BR
(Cenário)	(Coordenado)					(Descoordenado)
Imperial College IFR (%)	0,70	0,80	1,10	0,80	1,10	0,96
Número de pessoas na força de trabalho, ocupadas	22.782.714	1.657.700	3.764.280	7.651.617	3.602.820	94.558.763
Número de estudantes	10.306.000	1.284.000	2.376.000	3.853.000	2.475.000	52.225.000
Horas diárias dedicadas aos cuidados de pessoas e/ou afazeres domésticos	2,06	1,44	1,87	2,04	2,02	2,02
Número médio de pessoas por domicílio	2,80	3,60	3,10	2,70	2,90	2,90
Tempo habitual de deslocamento para o trabalho dos indivíduos (minutos)	37,15	33,95	26,60	43,07	30,52	31,02
População	45.919.049	4.144.597	9.132.078	17.264.943	9.557.071	210.147.125
Média de horas habitualmente trabalhadas por dia em todos os trabalhos	8,24	7,30	7,58	8,10	7,74	7,92
Rendimento médio mensal real domiciliar per capita, a preços médios do ano	1.889	838	939	1.809	954	1406

Fonte: elaboração própria.

Tabela 2 | Valores calibrados para as principais variáveis e parâmetros de cada estado e do Brasil

Estado	SP	AM	CE	RJ	PE	BR
(Cenário)	(Coordenado)					(Descoordenado)
κ	0,63	1,10	2,35	1,33	1,90	1,92
α_1	0,16	0,28	0,30	0,12	0,25	0,31
α_2	0,17	0,13	0,14	0,16	0,14	0,16
α_3	0,66	0,60	0,56	0,71	0,61	0,53
π_1	$4,28 \cdot 10^{-7}$	$3,68 \cdot 10^{-6}$	$3,17 \cdot 10^{-6}$	$8,53 \cdot 10^{-7}$	$2,59 \cdot 10^{-6}$	$1,47 \cdot 10^{-6}$
π_2	$5,99 \cdot 10^{-5}$	$5,54 \cdot 10^{-5}$	$5,85 \cdot 10^{-5}$	$5,13 \cdot 10^{-5}$	$5,33 \cdot 10^{-5}$	$5,81 \cdot 10^{-5}$
π_3	0,39	0,35	0,33	0,33	0,36	0,31
ε	100	100	100	100	100	100
A	45.919.049	4.144.597	9.132.078	17.264.943	9.557.071	210.145.125
θ	11,46	5,74	6,19	11,17	6,16	8,88
β	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$7,51 \cdot 10^{-4}$	$6,96 \cdot 10^{-4}$	$6,10 \cdot 10^{-4}$	$6,68 \cdot 10^{-4}$	$6,38 \cdot 10^{-4}$
ϕ^i	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966
	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Fonte: elaboração própria.

Duas últimas observações devem ser feitas. A primeira trata da convenção de tempo utilizada para os exercícios. Como o principal objetivo do modelo não é computar previsões quantitativas pontuais a respeito de questões como a data do pico de infectados, nós decidimos por abrir mão da definição de uma periodicidade específica para o tempo do modelo. Em vez disso, optamos por normalizar a duração total do intervalo de tempo para o qual os exercícios foram computados para 1. Assim, a interpretação do tempo do modelo passa a ser em relação ao progresso (%) da duração total da pandemia, a qual só se terá conhecimento *ex post*.

A segunda trata do critério utilizado para determinar o fim das epidemias modeladas. As epidemias têm seu fim quando atingem a chamada imunidade de rebanho. Assim como Eichenbaum *et al.* (2020), nós assumimos que a imunidade de rebanho do modelo é alcançada quando 60% da população é infectada. Não obstante, vale ressaltar que, como o modelo incorpora a possibilidade de descoberta de vacina, conforme será visto, os estados, em média, chegarão ao fim da epidemia com menos de 60% de suas populações infectadas pelo vírus.

Finalizada a calibragem e efetuadas essas observações, podemos prosseguir para os resultados.



4.

Resultados





4. Resultados

4.1 Políticas de contenção

Nesta seção nós iniciamos a análise dos resultados computando as trajetórias ótimas¹⁴ de políticas de contenção, tanto para os cinco estados selecionados, representando o cenário coordenado, quanto para o Brasil como um todo, representando o cenário descoordenado. Conforme já mencionado, os cinco estados selecionados são os mesmos considerados por Borelli e Góes (2020) e foram escolhidos por serem, no momento da pesquisa mencionada, os estados que apresentavam os cinco maiores números de casos confirmados acumulados e notificados.

O **cenário coordenado** é caracterizado por trajetórias de políticas ótimas de contenção computadas separadamente para cada estado, refletindo o cenário em que as autoridades do país coordenam suas tomadas de decisão considerando as realidades estaduais e, assim, diferenciando as políticas de contenção de acordo com suas diferentes características particulares.

¹⁴ Uma trajetória ótima de políticas de contenção é uma sequência $\{\mu_t\}_{t=0}^{H-1}$, tal que o bem-estar social da economia é maximizado, onde μ_t são as taxas de contenção – recorde-se da equação (3) – e H é o horizonte de tempo total do modelo.

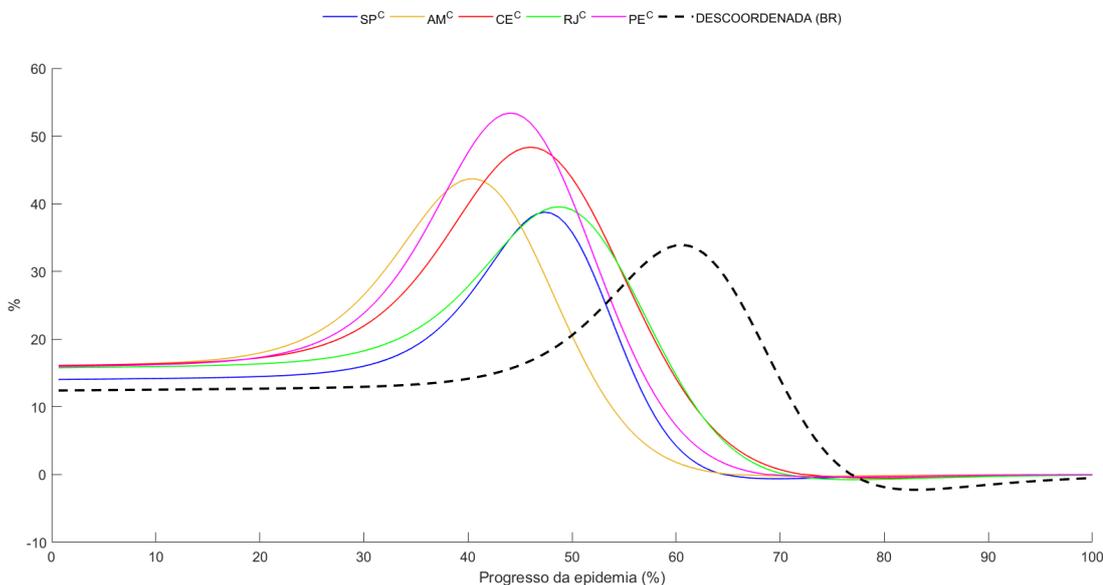
Já o **cenário descoordenado** é caracterizado por uma única trajetória de políticas ótimas de contenção, computada para o Brasil como um todo e adotada em comum por todos os estados. Esse cenário reflete, portanto, o extremo oposto do cenário coordenado, ou seja, um cenário em que as autoridades desconsideram por completo as características particulares dos estados, conduzindo suas tomadas de decisão de maneira completamente descoordenada das realidades estaduais do país.

O objetivo desta seção será avaliar a trajetória das taxas de contenção no cenário descoordenado comparativamente às suas trajetórias no cenário coordenado, a fim de identificar, para os estados considerados, os potenciais erros de condução de políticas resultantes da descoordenação. A análise em maior profundidade das implicações epidemiológicas e macroeconômicas da descoordenação terá seu início na seção 4.2.

Os resultados para as trajetórias das taxas de contenção em ambos os cenários estão expostos na Figura 1. As trajetórias computadas evidenciam que, no cenário de completa ausência de coordenação entre estados e federação, a falha das autoridades do país em captar as características particulares de cada estado no desenho das políticas de combate à epidemia poderia acarretar duas consequências estilizadas gerais em relação aos cinco estados selecionados:

1. O atraso em iniciar a elevação das medidas de contenção em relação às necessidades estaduais, representadas pelas curvas coordenadas em nível estadual; e
2. A subestimação do rigor necessário em suas conduções, que pode ser notada pela diferença no nível alcançado pelo pico da taxa de contenção descoordenada em relação aos níveis alcançados pelos picos das taxas de contenção coordenadas em nível estadual.

Figura 1 | Trajetórias das políticas ótimas de contenção para o cenário coordenado (SP, AM, CE, RJ e PE) e descoordenado (BR)



Fonte: elaboração própria.

Nota: sobrescritos 'C' indicam que as trajetórias são associadas ao cenário coordenado.

É também interessante notar que, para alguns estados, a descoordenação implicaria maiores erros de condução de política, enquanto, para outros, menores. Diante dessa constatação, é natural que nos questionemos sobre o quão grande seriam esses erros e quais estados sofreriam os maiores erros de condução em decorrência dessa descoordenação.

Para esclarecer esse questionamento, nós utilizamos duas abordagens. Na primeira, avaliamos pontualmente o tamanho do erro de condução com base exclusivamente nos picos das taxas de contenção. Ainda dentro dessa primeira abordagem, nós avaliamos os erros sob duas perspectivas: a primeira com enfoque nos níveis dos picos, enquanto a segunda com enfoque no momento temporal em que esses picos são atingidos.

Já na segunda abordagem, em vez de avaliarmos os erros pontualmente, considerando apenas os picos das curvas, nós os avaliamos considerando a trajetória integral das taxas de contenção computadas. Para essa finalidade, nós utilizamos como medidas os erros quadráticos médios e os erros absolutos médios da trajetória descoordenada em relação às trajetórias coordenadas em nível estadual.¹⁵

¹⁵ Convencionar-se-á, doravante, denominar **trajetórias coordenadas** as trajetórias adotadas por cada

A Tabela 3 apresenta os níveis dos picos das taxas de contenção coordenadas e descoordenada. Ainda na mesma tabela, podemos observar os erros no nível do pico da taxa de contenção descoordenada em relação às taxas coordenadas de cada estado.¹⁶

Tabela 3 | Picos das taxas de contenção para os cenários coordenado e descoordenado e erros do pico no cenário descoordenado em relação ao cenário coordenado para cada estado selecionado

Estado	SP	AM	CE	RJ	PE	BR
(Cenário)	(Coordenado)					(Descoordenado)
Pico (%)	38,76%	43,68%	48,35%	39,54%	53,40%	33,91%
Erro do pico no cenário descoordenado (p.p. em relação aos picos nos estados, no cenário coordenado)	-4,84	-9,77	-14,44	-5,63	-19,48	-

Fonte: elaboração própria.

Em São Paulo (SP), a política descoordenada prescreveria a elevação das taxas de contenção a um nível 4,84 pontos percentuais inferior ao nível ideal, prescrito pela política coordenada em nível estadual. Já no Rio de Janeiro (RJ), o erro elevar-se-ia com a política descoordenada prescrevendo a elevação das taxas de contenção a um nível 5,63 pontos percentuais inferior ao nível de fato requerido por esse estado. A situação seria ainda pior quando considerado o Estado do Amazonas (AM), onde a política descoordenada atingiria um pico 9,77 pontos percentuais inferior ao nível ideal, e continuaria a piorar no Estado do Ceará (CE), onde a política seria 14,44 pontos percentuais inferior à necessária. Finalmente, o maior erro de condução ocorreria em Pernambuco (PE), onde o pico prescrito pelo cenário descoordenado seria 19,48 pontos percentuais inferior ao pico prescrito pelo cenário coordenado.

Esses resultados evidenciam como alguns estados, em decorrência da descoordenação, sofreriam maiores erros de condução de política do que outros, em termos do rigor máximo das medidas adotadas. Não obstante, a Figura 2 nos mostra que, conforme já mencionado, os erros de condução resultantes da descoordenação não se resumem apenas ao que tange os níveis de rigor, abrangendo também o aspecto temporal. Com efeito, a trajetória descoordenada atinge seu pico com significativo atraso em relação às trajetórias coordenadas em

estado no cenário coordenado. Analogamente, de **trajetória descoordenada** a trajetória adotada em comum, por todos os estados, no cenário descoordenado.

¹⁶ Esses erros são calculados pelo cômputo das diferenças entre o pico da taxa descoordenada e os picos das taxas coordenadas para cada estado.

nível estadual.

A Tabela 4 apresenta os momentos de ocorrência dos picos das taxas de contenção para os cenários coordenados e descoordenado, bem como os erros temporais de ocorrência desses picos no cenário descoordenado em relação ao cenário coordenado, para cada estado selecionado.

Tabela 4 | Momentos de ocorrência dos picos das taxas de contenção para os cenários coordenado e descoordenado e os erros temporais do pico no cenário descoordenado em relação ao cenário coordenado, para cada estado selecionado

Estado (Cenário)	SP	AM	CE	RJ	PE	BR (Descoordenado)
Momento de ocorrência do pico (% de progresso do tempo total da epidemia)	47,33%	40,67%	46,00%	48,67%	44,00%	60,67%
Erro temporal do pico no cenário descoordenado (p.p. em relação aos picos nos estados, no cenário coordenado)	13,33	20,00	14,67	12,00	16,67	-

Fonte: elaboração própria.

É possível notar que os erros no momento da ocorrência do pico e, equivalentemente, no momento do início da flexibilização das medidas de contenção, diferem também consideravelmente entre os estados. No Rio de Janeiro (RJ), a política descoordenada prescreveria a elevação das medidas de contenção por 12 pontos percentuais do tempo total da epidemia a mais do que prescreve a política coordenada; em São Paulo (SP), por 13,33 p.p. a mais; no Ceará (CE), por 14,67 p.p.; em Pernambuco (PE), por 16,67 p.p.; e, finalmente, no Amazonas (AM), onde o erro temporal seria o maior, por 20 p.p..

Os resultados acima permitem medir, pontualmente, sob duas diferentes perspectivas, quais seriam os erros de condução de política decorrentes da descoordenação, bem como a magnitude das diferenças desses erros entre os diferentes estados considerados. No entanto, por considerarem apenas os picos das taxas de contenção, não permitem medir o erro considerando suas trajetórias integrais. Para essa finalidade, podemos utilizar algumas medidas de erro médio. A Tabela 5 apresenta os erros quadráticos médios e erros absolutos médios da trajetória descoordenada em relação às trajetórias coordenadas estaduais.

Tabela 5 | Erros absolutos médios e erros quadráticos médios da trajetória do cenário descoordenado em relação às trajetórias estaduais do cenário coordenado

Estado	SP	AM	CE	RJ	PE
Erros quadráticos médios	1,44%	2,32%	1,90%	1,13%	2,62%
Erros absolutos médios	7,79%	11,06%	9,89%	7,70%	11,40%

Fonte: elaboração própria.

É possível notar, considerando, finalmente, as trajetórias integrais, que o estado que menos sofreria erros de condução de políticas de contenção em decorrência da descoordenação seria o Estado do Rio de Janeiro (RJ). O segundo que menos sofreria seria o Estado de São Paulo (SP), enquanto o terceiro, do Ceará (CE); o quarto, do Amazonas (AM) e, por último, o estado que mais sofreria com a descoordenação das políticas seria o Estado de Pernambuco (PE).

Verifica-se, portanto, que a adoção da trajetória de políticas de contenção associada ao cenário descoordenado engendraria às esferas estaduais consideráveis erros de condução de política. Diante dessa constatação, devemos nos questionar: na ocasião da adoção dessa trajetória, quais seriam as consequências epidemiológicas e macroeconômicas resultantes desses erros de condução?

4.2 Análise contrafactual: implicações qualitativas da descoordenação

A fim de explorar as potenciais consequências epidemiológicas e macroeconômicas da descoordenação entre as esferas federal e estadual na determinação das políticas de contenção, nós efetuamos uma análise contrafactual em que cada um dos estados selecionados, em vez de adotarem as diferentes trajetórias determinadas em nível estadual associadas ao cenário coordenado, adotam, em comum, a trajetória única, determinada no nível federal, associada ao cenário descoordenado.

Nesta seção, nós iniciamos efetuando uma análise qualitativa das principais consequências da descoordenação. Seguindo a mesma abordagem da seção anterior, nós analisamos os resultados tanto em relação ao nível dos pontos críticos das principais variáveis do modelo, quanto em relação ao momento temporal da ocorrência desses pontos. Uma análise quantitativa mais aprofundada dos efeitos da descoordenação para cada estado será efetuada, portanto, apenas na seção 4.3.

Os resultados estão reportados da seguinte forma: a Figura 2 apresenta graficamente, de forma conjunta, os principais resultados para ambos os cenários, coordenado e descoordenado. A Figura 3 apresenta apenas os resultados para o cenário coordenado, enquanto a Figura 4, apenas para o cenário descoordenado. A Tabela 6 resume numericamente os pontos críticos desses resultados para cada estado, em ambos os cenários. Finalmente, as Figuras 5 a 9 apresentam o comparativo dos cenários para cada estado, individualmente.¹⁷

Em geral, é possível notar que, no cenário descoordenado, em decorrência do atraso até o início da elevação das medidas de contenção, somado ao baixo rigor das poucas medidas adotadas nos primeiros momentos da epidemia, a quantidade de infectados inicialmente cresce descontroladamente. Como consequência, nota-se que os picos das populações infectadas são sempre maiores no cenário descoordenado, quando comparados ao cenário coordenado. Uma maior quantidade de indivíduos infectados simultaneamente, por sua vez, implica a sobrecarga dos sistemas de saúde estaduais, elevando também as taxas de mortalidade,¹⁸ que atingem, para todos os estados considerados, picos superiores aos picos atingidos no cenário coordenado. Naturalmente, como consequência, os estados no cenário descoordenado terminam por apresentar, sistematicamente, ao fim da epidemia, números de mortes acumuladas superiores àqueles apresentados pelo cenário coordenado, bem como números de recuperados menores.

Quanto às consequências macroeconômicas da descoordenação, nota-se que, no cenário descoordenado, as recessões econômicas são, em todos os estados, menos profundas que nos cenários coordenados. Isto ocorre, evidentemente, às expensas da saúde pública, tendo como contrapartida um maior número de mortes, conforme já constatado. Não obstante, é importante salientar que, ainda que no cenário descoordenado as recessões resultantes sejam menos profundas, elas são mais duradouras.

Ocorre que, em um primeiro momento, os agentes reduzem suas atividades de consumo voluntariamente por conta do rápido crescimento da população infectada e das taxas de mortalidade.

$$\uparrow I \Rightarrow \uparrow \pi_d \Rightarrow \uparrow D \Rightarrow \downarrow C, \downarrow H \tag{33}$$

E, com a redução dessas atividades, conforme a população infectada se recupera, a população de infectados começa a se reduzir, reduzindo também a taxa de

¹⁷ Devido à grande quantidade de resultados, as tabelas e figuras foram deslocadas para o final da seção.

¹⁸ Recorde-se, da equação (10), que a taxa de mortalidade é endógena, em função da população infectada.

mortalidade e, conseqüentemente, o número de novos mortos. Com a melhoria da situação epidemiológica, os agentes começam a retornar de forma voluntária às atividades de consumo e de trabalho.

$$\downarrow I \Rightarrow \downarrow \pi_d \Rightarrow \downarrow D \Rightarrow \uparrow C, \uparrow H \tag{34}$$

Em um segundo momento, porém, em meio a essa retomada voluntária das atividades, como decorrência das fortes elevações das medidas de contenção do governo, iniciadas com atraso, os agentes são forçados a reduzir novamente suas atividades de consumo.

$$\uparrow \mu \Rightarrow \downarrow C, \downarrow H \tag{35}$$

Diante do atraso da condução das medidas de contenção no cenário descoordenado, o pico da taxa de contenção ocorre em momento posterior ao momento de ocorrência do pico de infectados. Assim, ocorre, em determinados momentos, que, enquanto a população infectada decai, a taxa de contenção aumenta e, do ponto de vista macroeconômico, dois efeitos em direções contrárias ocorrem simultaneamente: enquanto a redução da população infectada age impulsionando a atividade econômica,¹⁹ o aumento da taxa de contenção age, evidentemente, reduzindo-a.²⁰

Nesses momentos, a consequência sobre os agregados macroeconômicos é ambígua e depende da magnitude dos dois efeitos que atuam simultaneamente, descritos pelas equações (34) e (35).

Para alguns estados (e.g.: São Paulo, Rio de Janeiro e Ceará), mesmo com a taxa de contenção em constante elevação, a redução da população infectada e o conseqüente crescimento da população recuperada (retomando consumo e trabalho) é de tamanha magnitude que os efeitos das políticas públicas de contenção são negativamente compensados, fazendo com que a atividade econômica continue a se elevar, ainda que em ritmo reduzido, mesmo diante do aperto das medidas de contenção governamentais. Este é o caso em que a magnitude do efeito descrito pela equação (34) supera a magnitude do efeito descrito pela equação (35) e a recuperação econômica toma a forma de ‘U’.

Para outros (e.g.: Amazonas e Pernambuco), o efeito recessivo da elevação da taxa de contenção sobre a atividade econômica supera o efeito de retomada do fluxo

.....
¹⁹ Efeito descrito pela equação (34). Isso ocorre, evidentemente, pois parte dessa redução de infectados reflete agentes se recuperando da contaminação e retornando às atividades de trabalho e de consumo.

²⁰ Efeito descrito pela equação (35).

de recuperados retornando ao consumo e ao trabalho, fazendo com que se inicie um segundo movimento recessivo, que só tem seu fim com o início posterior da flexibilização das medidas. Este é o caso em que a magnitude do efeito descrito pela equação (35) supera a magnitude do efeito descrito pela equação (34) e a recuperação econômica toma a forma de 'W'.

Observa-se que essa disfunção é característica da descoordenação, uma vez que, nos cenários coordenados, a elevação das taxas de contenção antecipa sistematicamente o crescimento da população infectada. Assim, nos cenários coordenados, os vales das recessões macroeconômicas sincronizam-se perfeitamente no tempo com os picos das taxas de contenção e a recuperação ocorre em formato de 'V'.

Interessante notar, ainda, que esse fenômeno possivelmente explica também o menor número de infectados ao fim das epidemias – ainda que com maior número de mortos – no cenário descoordenado, quando comparado ao cenário coordenado. A dessincronização das medidas com as reais necessidades sanitárias dos estados termina por prolongar de forma ineficiente a quarentena (e, por isso, também a recessão econômica). A extensão desse prolongamento, de fato, resulta em um menor número total de infectados ao fim da epidemia. No entanto, o baixo grau de rigor das medidas adotadas é insuficiente para conter adequadamente a elevação das taxas de mortalidade. O resultado é uma política ineficiente, que, ainda que reduza a quantidade de infectados em relação ao cenário coordenado, falha em reduzir o número de mortos, objetivo inicial das medidas adotadas.

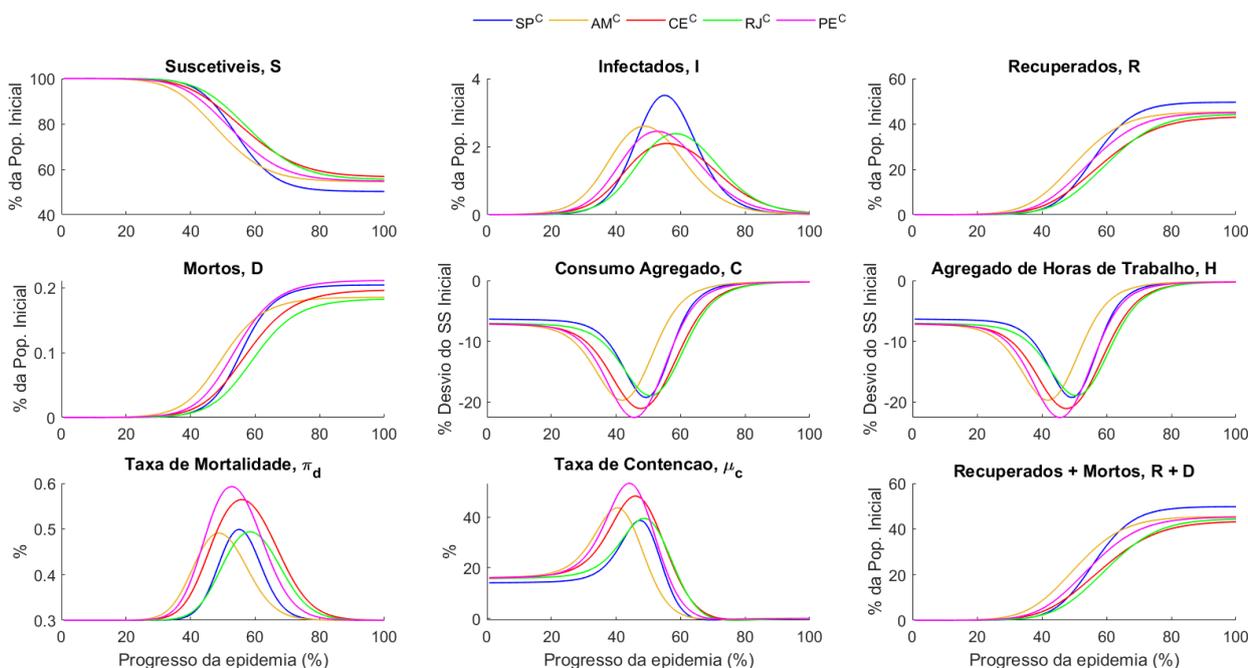
Em suma, o que se observa é que, no cenário descoordenado, a quarentena é menos rigorosa, porém mais prolongada, pois as quarentenas “voluntárias” e “induzidas pelas políticas públicas” ocorrem em dissincronia no tempo, acarretando reduções da atividade mais prolongadas (recuperação em 'U', como ocorre, por exemplo, em São Paulo) ou, potencialmente, em casos mais graves, até mesmo “duas ondas” de redução da atividade (implicando recuperações em 'W', como ocorre, por exemplo, no Amazonas). Já no cenário coordenado, a quarentena é mais rigorosa, porém menos prolongada, pois as quarentenas “voluntárias” e “induzidas por políticas públicas” ocorrem em perfeita sincronia, acarretando uma “onda única” de redução da atividade (recuperação em 'V').

As consequências qualitativas gerais e estilizadas para os estados são: i) maiores picos das populações infectada; ii) maiores picos das taxas de mortalidade; iii) recessões econômicas menos profundas, porém mais prolongadas e de mais lenta recuperação; e iv) menores quantidades de infectados ao fim da epidemia, porém com maiores quantidades de mortes acumuladas.

Quanto à dimensão temporal, a Tabela 7 resume os resultados. É possível notar que as tendências qualitativas gerais e estilizadas para os estados são de i) adiantamentos dos picos das populações infectadas e, conseqüentemente, dos picos das taxas de mortalidade; em parte decorrentes do ii) atraso substancial do momento em que o rigor das políticas de contenção representadas pela trajetória descoordenada atinge o seu ápice; e iii) atrasos dos momentos em que os vales mais profundos das recessões macroeconômicas são atingidos e, equivalentemente, dos momentos de início das retomadas macroeconômicas.

Não obstante as conseqüências qualitativamente semelhantes da descoordenação, tanto em relação ao nível das variáveis quanto em relação ao aspecto temporal, é possível notar, principalmente pelo exame das Figuras 5 a 9, que os efeitos da descoordenação são quantitativamente bastante heterogêneos entre os diferentes estados. Note, por exemplo, o quão grande é a diferença do descolamento das curvas de mortos relativas aos cenários coordenado e descoordenado no Rio de Janeiro (RJ) em relação ao descolamento dessas curvas em Pernambuco (PE). Esses fatos implicam a necessidade de uma análise mais aprofundada dos efeitos quantitativos da descoordenação, que nos permita compreender melhor a grandeza e a natureza dessas diferenças interestaduais.

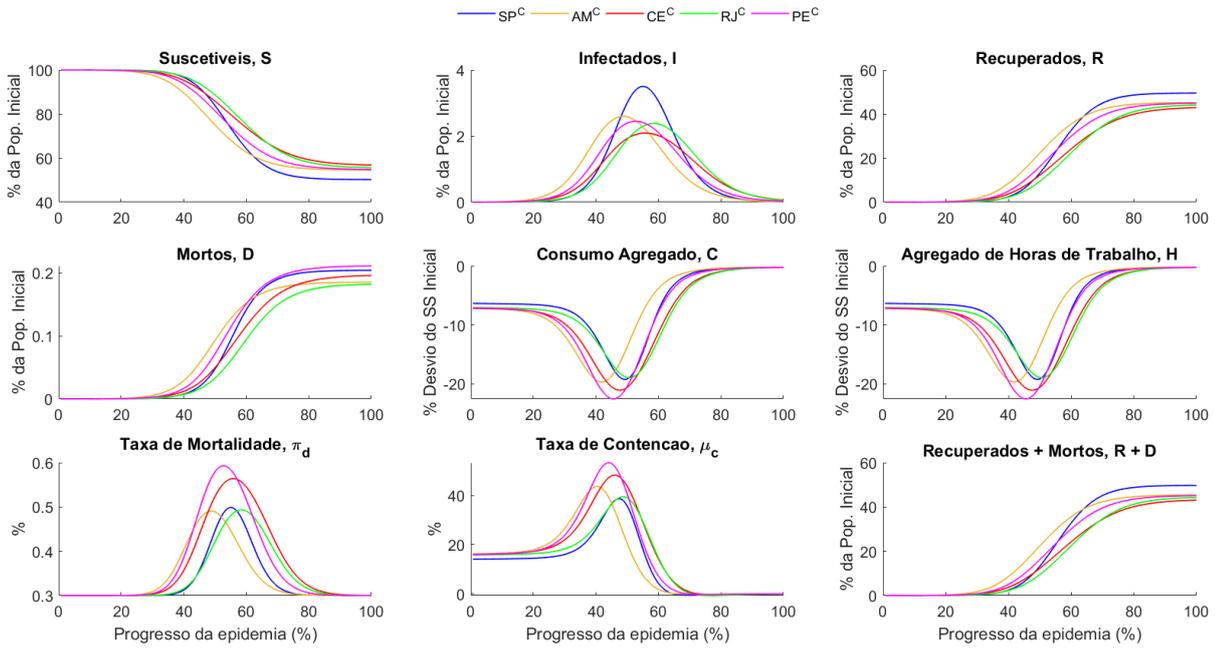
Figura 2 | Comparativo de resultados entre os cenários coordenado (linhas sólidas) e descoordenado (linhas tracejadas) para todos os estados



Fonte: elaboração própria.

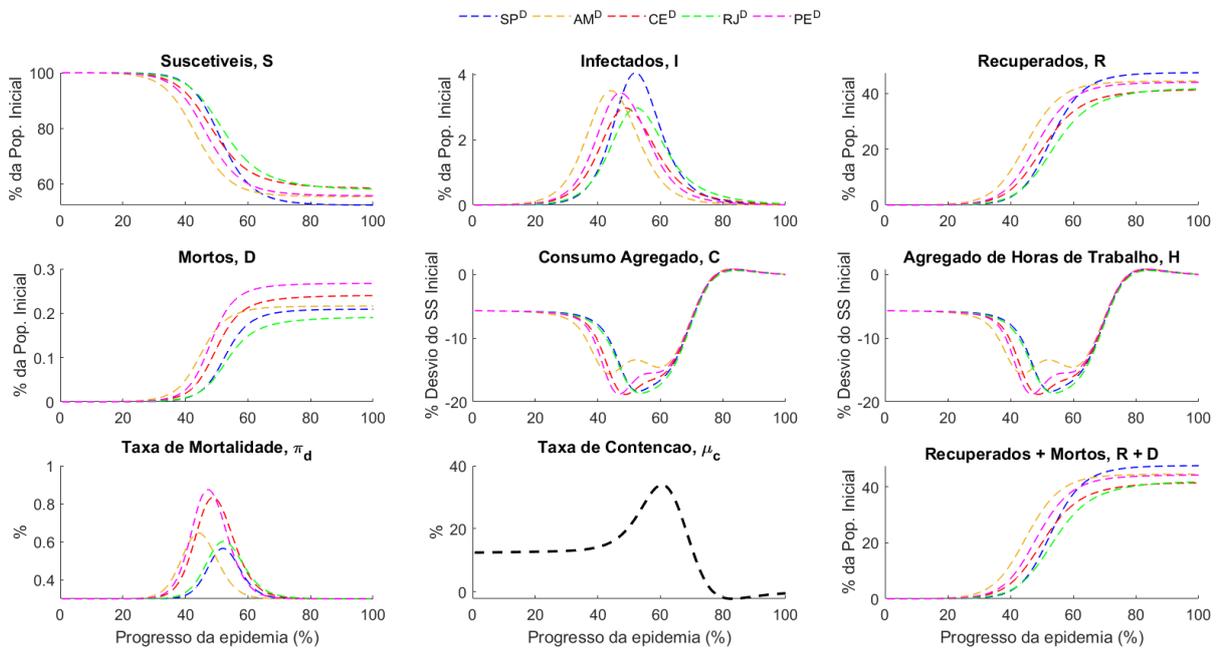
Nota: a trajetória de taxas de contenção representada pela curva preta tracejada é a trajetória de taxas de contenção adotada em comum por todos os estados no cenário descoordenado.

Figura 3 | Comparativo de resultados entre todos os estados para o cenário coordenado



Fonte: elaboração própria.

Figura 4 | Comparativo de resultados entre todos os estados para o cenário descoordenado



Fonte: elaboração própria.

Nota: a trajetória de taxas de contenção representada pela curva preta tracejada é a trajetória de taxas de contenção adotada em comum por todos os estados.

Tabela 6 | Resultados para as principais variáveis do modelo para os cenários coordenado e descoordenado em cada estado

Variável	Cenário	SP	AM	CE	RJ	PE
Total de não infectados ao fim da epidemia, S (% da população pré-epidêmica)	Descoordenado	52,39%	55,40%	58,50%	58,16%	55,76%
	Coordenado	50,25%	54,57%	56,83%	55,65%	54,85%
Pico da população infectada, I (% da população pré-epidêmica)	Descoordenado	4,05%	3,50%	2,97%	2,97%	3,43%
	Coordenado	3,50%	2,60%	2,09%	2,38%	2,45%
Total de recuperados ao fim da epidemia, R (% da população pré-epidêmica)	Descoordenado	47,39%	44,38%	41,23%	41,61%	43,96%
	Coordenado	49,54%	45,23%	42,91%	44,11%	44,91%
Total de mortos ao fim da epidemia, D (% da população pré-epidêmica)	Descoordenado	0,21%	0,22%	0,24%	0,19%	0,27%
	Coordenado	0,20%	0,19%	0,20%	0,18%	0,21%
Total de infectados ao fim da epidemia, R+D (% da população pré-epidêmica)	Descoordenado	47,60%	44,59%	41,47%	44,15%	41,88%
	Coordenado	49,74%	45,42%	43,11%	45,12%	44,29%
Pico da taxa de mortalidade (%)	Descoordenado	0,57%	0,65%	0,83%	0,60%	0,87%
	Coordenado	0,50%	0,49%	0,56%	0,49%	0,59%
Consumo agregado no vale (% de desvio do estado estacionário inicial)	Descoordenado	-18,33%	-15,60%	-18,84%	-18,63%	-18,78%
	Coordenado	-19,28%	-19,72%	-21,10%	-18,98%	-22,58%
Agregado de horas de trabalho no vale (% de desvio do estado estacionário inicial)	Descoordenado	-18,33%	-15,60%	-18,84%	-18,63%	-18,78%
	Coordenado	-19,28%	-19,72%	-21,10%	-18,98%	-22,58%

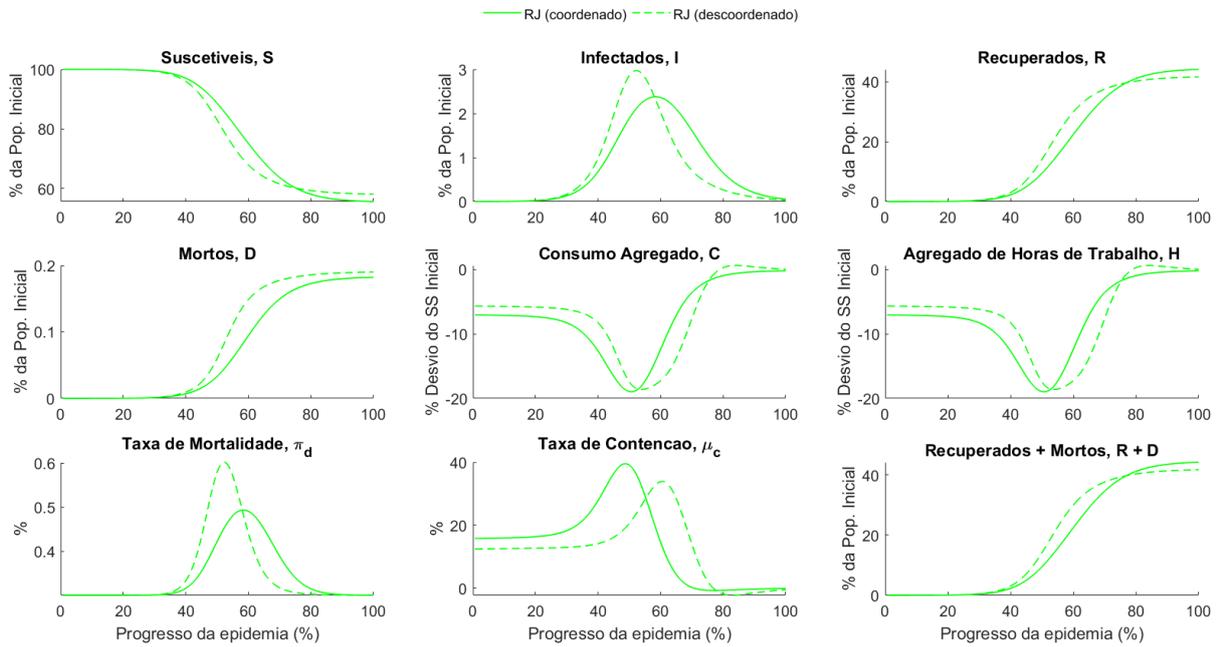
Fonte: elaboração própria.

Tabela 7 | Momentos do progresso da epidemia em que ocorrem os picos e vales das principais variáveis do modelo para os cenários coordenado e descoordenado em cada estado

Variável	Cenário	SP	AM	CE	RJ	PE
Momento do progresso da epidemia em que o pico da população infectada ocorre, I	Descoordenado	52,00%	44,00%	48,67%	52,00%	47,33%
(% de progresso do tempo total da epidemia)	Coordenado	55,33%	48,67%	56,00%	58,67%	52,67%
Momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da taxa de contenção, μ_t	Descoordenado	60,67%	60,67%	60,67%	60,67%	60,67%
(% de progresso do tempo total da epidemia)	Coordenado	47,33%	40,67%	46,00%	48,67%	44,00%
Momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da taxa de mortalidade, π_d	Descoordenado	52,00%	44,00%	48,67%	52,00%	47,33%
(% de progresso do tempo total da epidemia)	Coordenado	55,33%	48,67%	56,00%	58,67%	52,67%
Momento do progresso da epidemia em que ocorrem os vales dos agregados de consumo e de horas de trabalho	Descoordenado	52,67%	44,00%	48,67%	54,00%	46,67%
(% de progresso do tempo total da epidemia)	Coordenado	49,33%	42,00%	47,33%	50,67%	45,33%

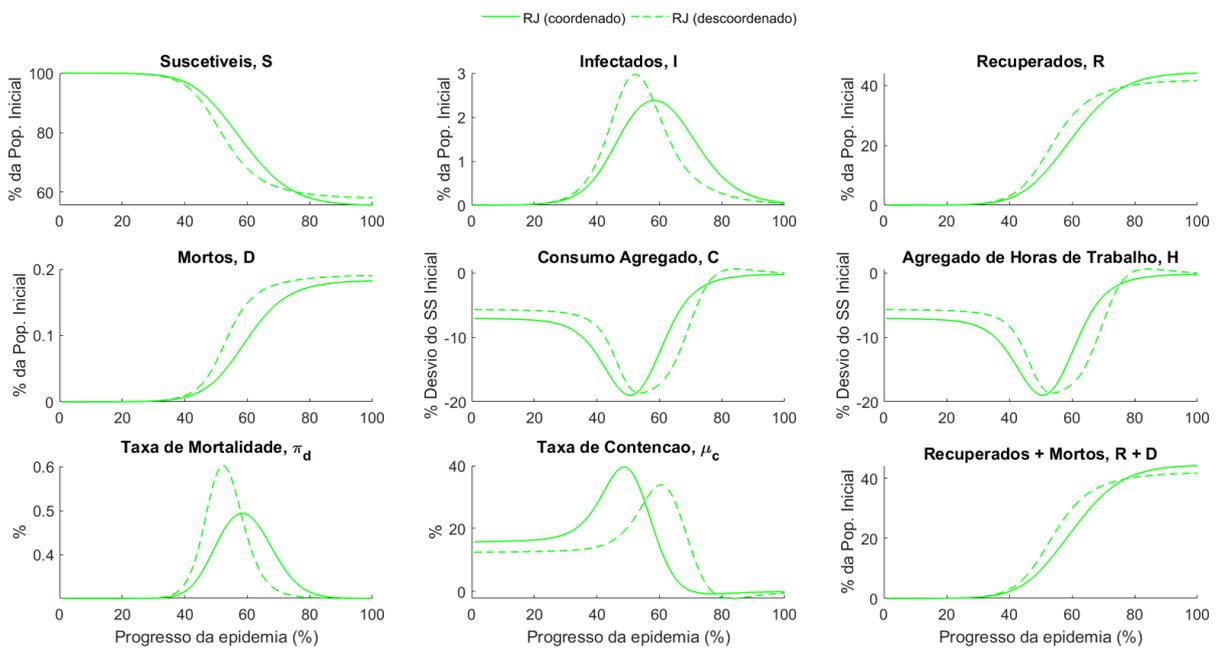
Fonte: elaboração própria.

Figura 5 | Comparativo de resultados entre os cenários coordenado e descoordenado para São Paulo (SP)



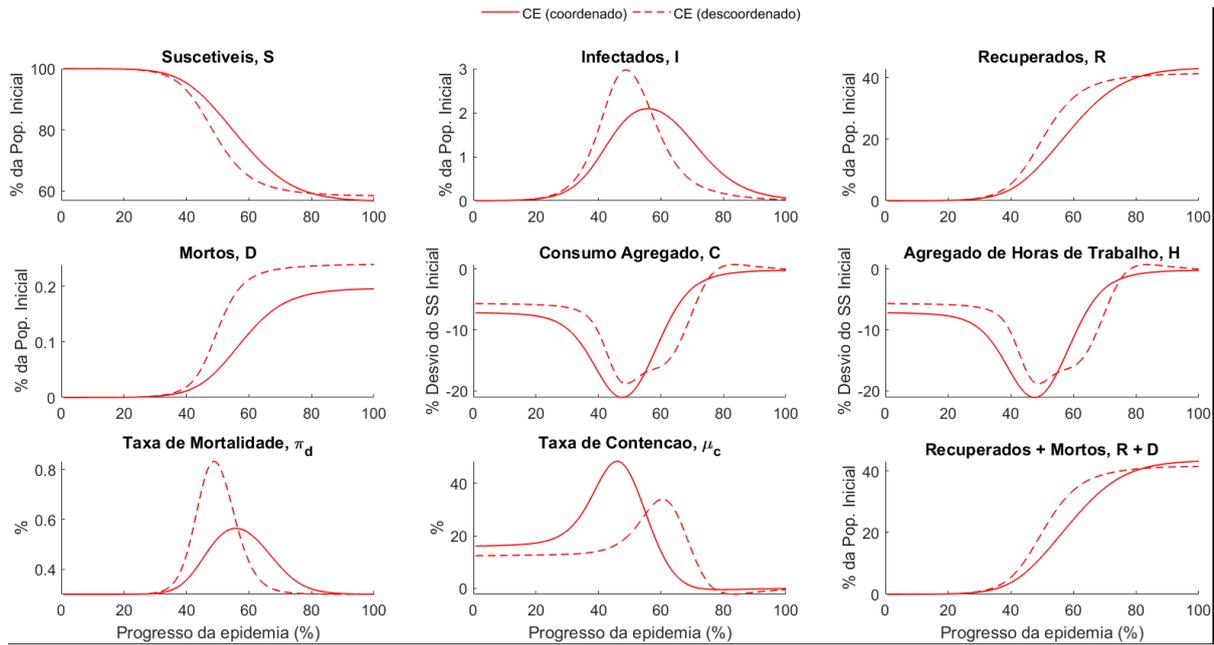
Fonte: elaboração própria.

Figura 6 | Comparativo de resultados entre os cenários coordenado e descoordenado para o Rio de Janeiro (RJ)



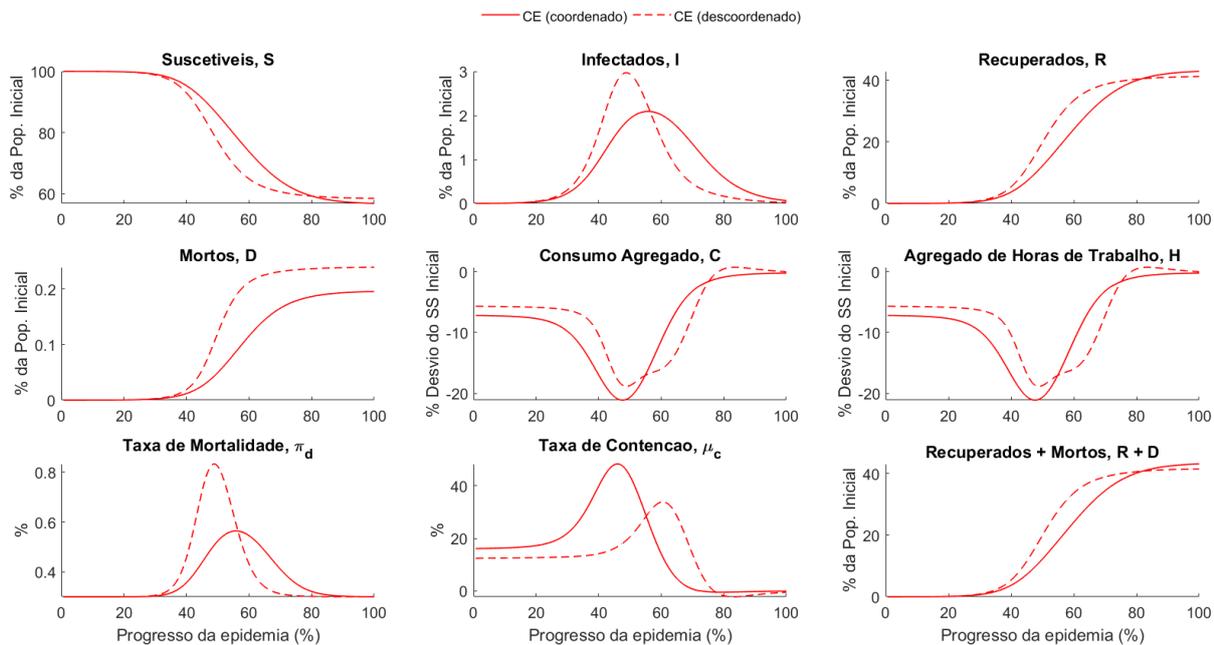
Fonte: elaboração própria.

Figura 7 | Comparativo de resultados entre os cenários coordenado e descoordenado para Pernambuco (PE)



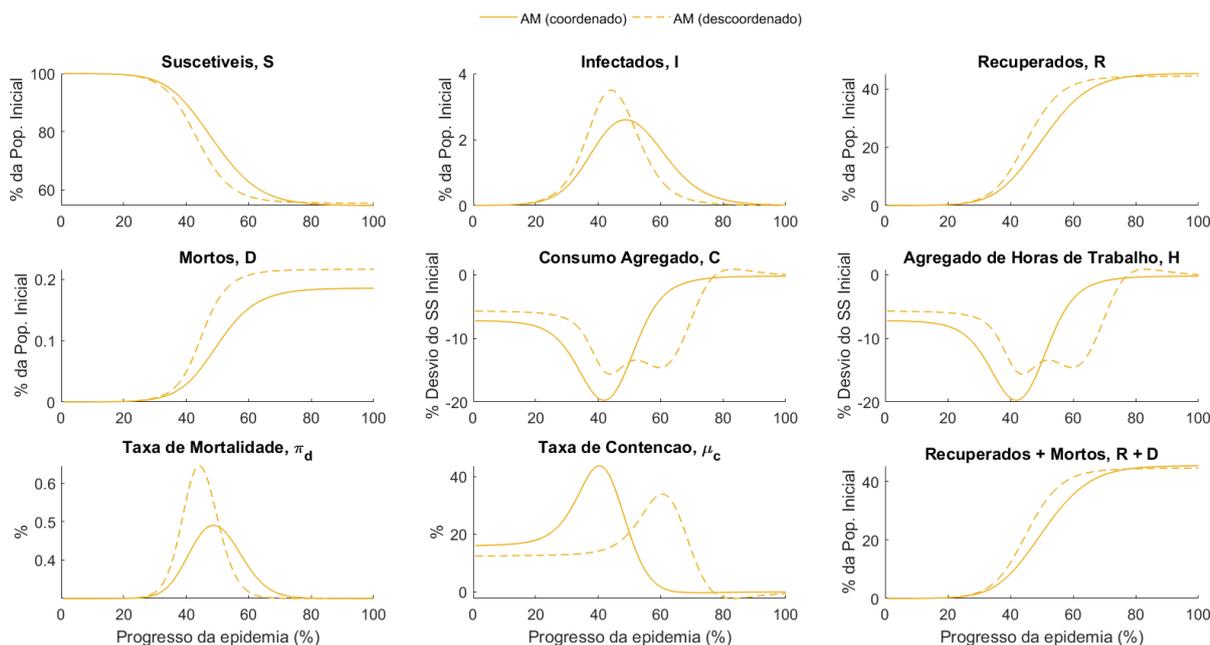
Fonte: elaboração própria.

Figura 8 | Comparativo de resultados entre os cenários coordenado e descoordenado para o Ceará (CE)



Fonte: elaboração própria.

Figura 9 | Comparativo de resultados entre os cenários coordenado e descoordenado para o Amazonas (AM)



Fonte: elaboração própria.

4.3 Análise contrafactual: implicações quantitativas da descoordenação

Nesta seção, nós avaliamos quantitativamente os efeitos da descoordenação sobre as principais variáveis e agregados do modelo. Esses efeitos são obtidos pelo cômputo da diferença entre os cenários coordenado e descoordenado de cada estado em pontos críticos, como picos, vales e valores finais das curvas epidemiológicas e macroeconômicas. Seguindo a mesma abordagem das seções anteriores, nós avaliamos tanto os efeitos sobre os níveis dessas variáveis nesses pontos, como também sobre os momentos temporais do progresso epidêmico em que ocorrem.

Iniciando pela avaliação de nível dos principais pontos críticos, a Tabela 8 apresenta os efeitos da descoordenação para as principais variáveis do modelo. Conforme o esperado, os resultados mostram que, apesar de os estados convergirem em termos de direção, eles apresentam magnitudes bastante distintas. Em geral, observa-se que os estados do Amazonas (AM), do Ceará (CE) e de Pernambuco (PE) sofrem, em decorrência da descoordenação, efeitos substancialmente maiores do que os efeitos sofridos pelos estados do Rio de Janeiro (RJ) e de São Paulo (SP). Para ilustrar tais diferenças, consideremos os

efeitos sobre os quatro seguintes pontos e variáveis: pico da população infectada, pico da taxa de mortalidade, total de mortos ao fim da epidemia e vale da recessão macroeconômica.

Em relação ao pico da população infectada, é possível notar que os maiores efeitos da descoordenação ocorrem, notadamente, sobre os estados de Pernambuco (PE), Amazonas (AM) e Ceará (CE), que apresentam aumentos da população infectada no pico de, respectivamente, +0,98, +0,90 e +0,88 pontos percentuais da população pré-epidêmica em relação aos seus cenários coordenados. Os efeitos sobre São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ) destacam-se pela menor magnitude, tendo sido, respectivamente, de apenas +0,54 e +0,59 pontos percentuais.

Essa notável diferença apresenta-se também nas consequências sobre os picos das taxas de mortalidade em cada estado. Enquanto nos estados de São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ) os picos das taxas de mortalidade sofrem um aumento, respectivamente, de apenas +0,07 e +0,11 pontos percentuais em relação aos seus cenários coordenados, nos estados de Pernambuco (PE), Ceará (CE) e Amazonas (AM), esses aumentos são de, respectivamente, +0,28, +0,27 e +0,16 pontos percentuais.

Quando analisados os efeitos da descoordenação sobre o total de mortos ao fim da epidemia, as diferenças acentuam-se: enquanto em São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ) os efeitos são, respectivamente, de apenas +0,005 e +0,01 pontos percentuais, nos estados de Pernambuco (PE), Ceará (CE) e Amazonas (AM), esses efeitos atingem, respectivamente, +0,06, +0,04 e +0,03 pontos percentuais.

Finalmente, no que tange a macroeconomia, é possível notar que os estados que sofrem as menores reduções de profundidade do vale da recessão são São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ), com reduções de, respectivamente, apenas 0,95 e 0,35 pontos percentuais de desvio do estado estacionário pré-epidêmico, em relação ao cenário coordenado. Essas reduções mostram-se muito maiores nos estados do Amazonas (AM), Pernambuco (PE) e Ceará (CE), onde atingem, respectivamente, 4,12, 3,80 e 2,26 pontos percentuais.

No que diz respeito à dimensão temporal, a Tabela 9 apresenta os efeitos estaduais da descoordenação sobre os momentos de ocorrência dos principais fenômenos epidêmicos e macroeconômicos.

Em relação ao momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da população infectada (e, conseqüentemente, também da taxa de mortalidade), o maior efeito ocorre no Ceará (CE), onde o pico tem seu momento de ocorrência

adiantado em 7,33 pontos percentuais em relação ao cenário coordenado. O segundo maior efeito ocorre no Estado do Rio de Janeiro (RJ), com um adiantamento do pico de 6,67 pontos percentuais, que é então seguido pelos estados de Pernambuco (PE), com adiantamento de 5,33 p.p.; do Amazonas (AM), com 4,67 p.p.; e, por último, de São Paulo (SP), que sofre o menor efeito, com um adiantamento de apenas 3,33 p.p.

Quanto aos efeitos da descoordenação sobre o momento em que ocorre o pico da taxa de contenção, estes já haviam sido analisados na Tabela 4.²¹ Constatou-se que Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP) apresentam, respectivamente, um atraso de 13,33 e 12 pontos percentuais do progresso total da epidemia em relação ao cenário coordenado, enquanto os estados do Amazonas (AM), Pernambuco (PE) e Ceará (CE) apresentam atrasos de 20, 16,67 e 14,67 pontos percentuais, respectivamente.

Finalmente, quanto ao momento de ocorrência do vale das recessões macroeconômicas, que equivale também ao momento de início da retomada econômica, observa-se que os maiores efeitos ocorrem sobre Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP), ambos com um atraso de 3,33 pontos percentuais em relação aos seus cenários coordenados. No Amazonas, o efeito é de apenas 2,00 pontos percentuais de atraso, enquanto, nos estados de Pernambuco (PE) e Ceará (CE), os efeitos atingem o menor valor, de apenas 1,33 ponto percentual de atraso.

Para que se tenha uma ideia prática do que esses efeitos temporais poderiam significar, a Tabela 10 apresenta os resultados supracitados em número de dias a mais ou a menos em relação ao cenário coordenado, para dois diferentes cenários de tempo total de duração da epidemia: um ano e um ano e meio. Os resultados mostram, por exemplo, que, em um cenário em que as epidemias estaduais durassem um ano, a descoordenação implicaria, para os estados de Pernambuco (PE) e Amazonas (AM), atrasos de mais de dois meses na determinação dos graus máximos das medidas de contenção. Para o Estado do Ceará (CE), esse atraso seria de pouco mais de um mês e meio, enquanto para os estados de São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ), de cerca de um mês e meio.

Desses resultados obtemos evidências de que os efeitos deletérios da descoordenação das políticas de contenção apresentam-se, em geral, de maneira muito mais enfática entre os estados do Amazonas (AM), de Pernambuco (PE) e do Ceará (CE) do que entre os estados de São Paulo (SP) e do Rio de Janeiro

²¹ Na Tabela 4 estes efeitos foram mencionados como os “erros temporais do pico no cenário descoordenado”.

(RJ). Os efeitos da descoordenação sobre os principais pontos críticos das variáveis epidemiológicas e macroeconômicas mostraram-se, nesse sentido, significativamente heterogêneos, tanto em relação aos seus níveis, quanto em relação aos seus momentos de ocorrência. As diferenças nos efeitos apresentam-se de forma mais drástica sobre os níveis do que sobre os momentos de ocorrência e, em particular, de forma notadamente mais acentuada sobre os números totais de mortos ao fim da epidemia.

As matrizes de diferenças expostas na Tabela 11 mostram de maneira mais clara e resumida esses resultados. Nessas matrizes, são computadas as diferenças interestaduais dos efeitos (apresentados na Tabela 8) sobre quatro pontos críticos das principais variáveis do modelo: pico da população infectada, pico da taxa de mortalidade, número de mortos ao fim da epidemia e vale da recessão macroeconômica. A escala de cores indica o quão favorável (verde) ou desfavorável (vermelho) é a diferença do efeito para o estado da linha em relação ao estado da coluna.

Assim, é fácil notar o quão mais desfavoráveis são os efeitos da descoordenação sobre os picos das populações infectadas, das taxas de mortalidade e, conseqüentemente, sobre o número total de mortos ao fim da epidemia sobre os estados do Amazonas (AM), de Pernambuco (PE) e do Ceará (CE), quando comparados aos estados de São Paulo (SP) e do Rio de Janeiro (RJ). Os resultados mostram também que os efeitos da descoordenação são, mais do que econômicos, sanitários, tendo como a maior consequência o agravamento, em relação ao cenário coordenado, da quantidade de mortos resultante da epidemia.

Tabela 8 | Efeitos da descoordenação sobre as principais variáveis epidemiológicas e macroeconômicas do modelo, para cada estado

Efeito da descoordenação sobre o...	SP	AM	CE	RJ	PE
Total de não infectados ao fim da epidemia (p.p. da população pré-epidêmica)	+2,14	+0,84	+1,67	+2,51	+0,91
Pico da população infectada (p.p. da população pré-epidêmica)	+0,54	+0,90	+0,88	+0,59	+0,98

Efeito da descoordenação sobre o...	SP	AM	CE	RJ	PE
Total de recuperados ao fim da epidemia (p.p. da população pré-epidêmica)	-2,14	-0,86	-1,68	-2,50	-0,95
Total de mortos ao fim da epidemia (p.p. da população pré-epidêmica)	+0,005	+0,03	+0,04	+0,01	+0,06
Total de infectados ao fim da epidemia (p.p. da população pré-epidêmica)	-2,14	-0,83	-1,63	-0,97	-2,41
Pico da taxa de mortalidade (p.p. da taxa de mortalidade)	+0,07	+0,16	+0,27	+0,11	+0,28
Vales dos agregados de consumo e de horas de trabalho (p.p. de desvio do estado estacionário pré-epidêmico)	+0,95	+4,12	+2,26	+0,35	+3,80

Fonte: elaboração própria.

Nota: efeitos positivos (+) sobre os vales das recessões macroeconômicas indicam efeitos no sentido da redução de suas profundidades.

Tabela 9 | Efeitos da descoordenação sobre os momentos de ocorrência dos principais fenômenos epidemiológicos e macroeconômicos do modelo, para cada estado

Efeito da descoordenação sobre o...	SP	AM	CE	RJ	PE
Momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da população infectada, I (p.p. de progresso do tempo total da epidemia)	-3,33	-4,67	-7,33	-6,67	-5,33
Momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da taxa de contação, μ_t (p.p. de progresso do tempo total da epidemia)	+13,33	+20,00	+14,67	+12,00	+16,67
Momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da taxa de mortalidade, π_d (p.p. de progresso do tempo total da epidemia)	-3,33	-4,67	-7,33	-6,67	-5,33
Momento do progresso da epidemia em que ocorrem os vales dos agregados de consumo e de horas de trabalho (p.p. de progresso do tempo total da epidemia)	+3,33	+2,00	+1,33	+3,33	+1,33

Fonte: elaboração própria.

Tabela 10 | Efeitos da descoordenação sobre os momentos de ocorrência dos principais fenômenos epidemiológicos e macroeconômicos do modelo, para cada estado e para diferentes cenários de tempo total de duração das epidemias (em número de dias a mais ou a menos em relação ao cenário coordenado)

Efeito da descoordenação sobre o...	Cenário de duração da epidemia	SP	AM	CE	RJ	PE
Momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da população infectada, I (dias a mais ou a menos em relação ao cenário coordenado)	1 ano	-12	-17	-27	-24	-19
	1 ano e meio	-18	-26	-40	-36	-29
Momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da taxa de contação, μ_t (dias a mais ou a menos em relação ao cenário coordenado)	1 ano	+49	+73	+54	+44	+61
	1 ano e meio	+73	+109	+80	+66	+91
Momento do progresso da epidemia em que ocorre o pico da taxa de mortalidade, π_d (dias a mais ou a menos em relação ao cenário coordenado)	1 ano	-12	-17	-27	-24	-19
	1 ano e meio	-18	-26	-40	-36	-29
Momento do progresso da epidemia em que ocorrem os vales dos agregados de consumo e de horas de trabalho (dias a mais ou a menos em relação ao cenário coordenado)	1 ano	+12	+7	+5	+12	+5
	1 ano e meio	+18	+11	+7	+18	+7

Fonte: elaboração própria.

Tabela 11 | Matrizes de diferenças interestaduais dos efeitos da descoordenação (em pontos percentuais)

(i) Pico da população infectada.

	SP	RJ	PE	CE	AM
SP	0,00	-0,05	-0,44	-0,33	-0,36
RJ	0,05	0,00	-0,39	-0,29	-0,31
PE	0,44	0,39	0,00	0,10	0,08
CE	0,33	0,29	-0,10	0,00	-0,02
AM	0,36	0,31	-0,08	0,02	0,00

(ii) Pico da taxa de mortalidade.

	SP	RJ	PE	CE	AM
SP	0,00	-0,04	-0,22	-0,20	-0,09
RJ	0,04	0,00	-0,17	-0,16	-0,05
PE	0,22	0,17	0,00	0,01	0,13
CE	0,20	0,16	-0,01	0,00	0,11
AM	0,09	0,05	-0,13	-0,11	0,00

(iii) Mortes ao fim da epidemia.

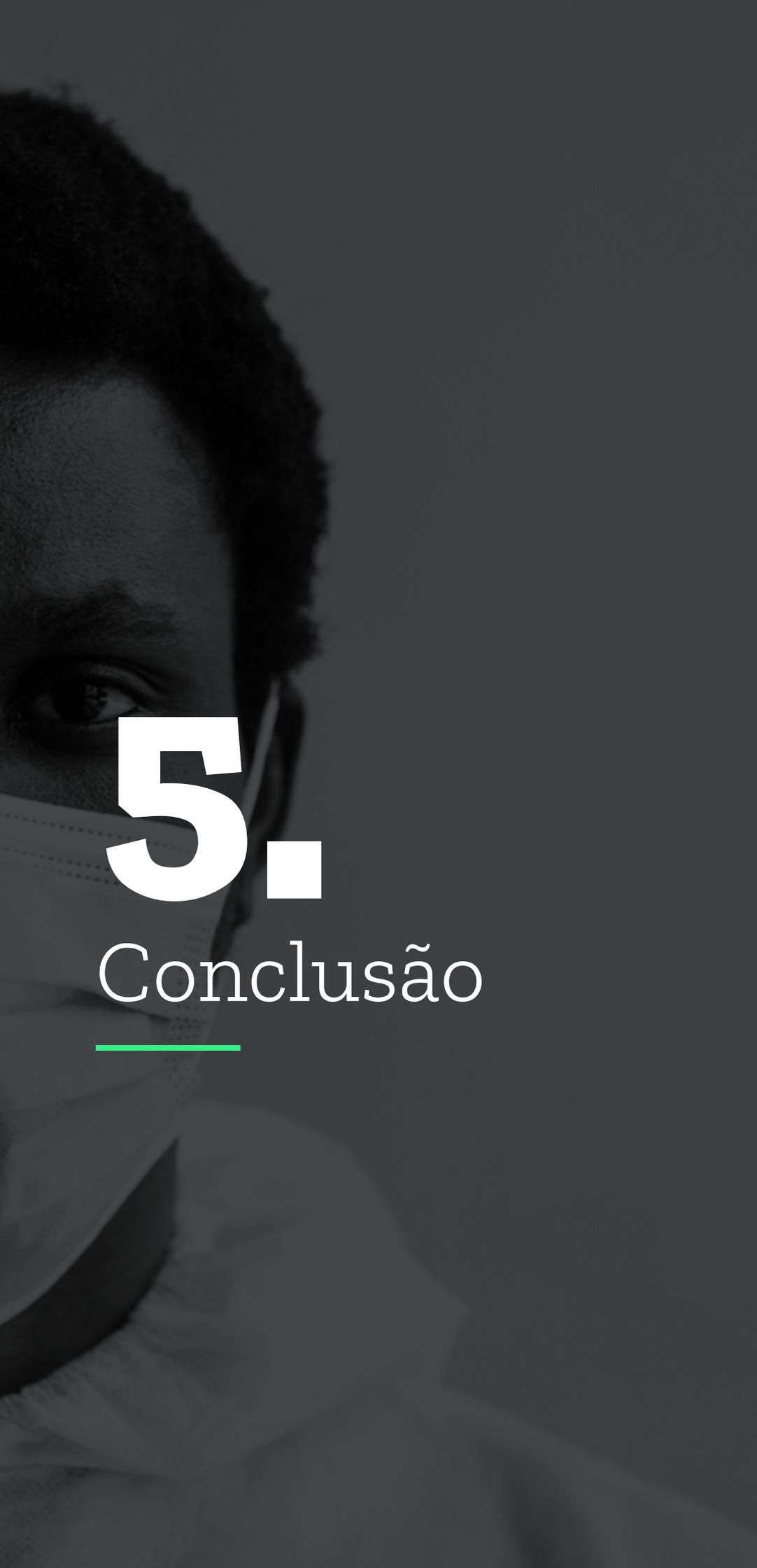
	SP	RJ	PE	CE	AM
SP	0,00	-0,003	-0,05	-0,04	-0,03
RJ	0,003	0,00	-0,05	-0,04	-0,02
PE	0,05	0,05	0,00	0,01	0,03
CE	0,04	0,04	-0,01	0,00	0,01
AM	0,03	0,02	-0,03	-0,01	0,00

(iv) Vale da recessão macroeconômica.

	SP	RJ	PE	CE	AM
SP	0,00	0,60	-2,85	-1,31	-3,17
RJ	-0,60	0,00	-3,45	-1,91	-3,77
PE	2,85	3,45	0,00	1,53	-0,32
CE	1,31	1,91	-1,53	0,00	-1,86
AM	3,17	3,77	0,32	1,86	0,00

Fonte: elaboração própria.

Nota: a diferença dos efeitos é computada para o estado da linha em relação ao estado da coluna. A escala de cores indica o quão favorável ou desfavorável é a diferença no efeito para o estado da linha em relação ao estado da coluna, com verde indicando mais favorável, enquanto vermelho menos favorável.



5.

Conclusão





5. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi investigar as potenciais consequências da descoordenação entre as esferas federal e estadual na determinação das medidas de combate à pandemia da Covid-19 no Brasil. A fim de identificá-las, nós aplicamos o modelo SIR-macro proposto por Eichenbaum *et al.* (2020), em sua forma completa, a cinco estados selecionados, a saber, São Paulo (SP), Amazonas (AM), Ceará (CE), Rio de Janeiro (RJ) e Pernambuco (PE). O modelo SIR-macro estende o modelo epidemiológico clássico SIR (acrônimo para Suscetíveis, Infectados e Recuperados), proposto originalmente por Kermack e McKendrick (1927), incorporando a ele a interação entre as decisões econômicas e as taxas de infecção. Nesse novo modelo estendido, as decisões dos agentes em abrir mão de consumo e de horas de trabalho reduzem, por um lado, a severidade da epidemia (medida em número total de mortes), mas agravam, por outro lado, o tamanho da recessão econômica dela resultante.

Uma importante característica desse modelo é que o seu equilíbrio competitivo não é socialmente ótimo. A população infectada pelo vírus não internaliza por completo o efeito de suas decisões de consumo e trabalho na disseminação do vírus. Para lidar com essas externalidades infecciosas, as autoridades públicas podem adotar políticas de contenção que reduzam o consumo e as horas trabalhadas pelos agentes. Reduzindo as interações econômicas dos agentes, essas políticas de contenção exacerbam, por um lado, as recessões, mas reduzem, por outro, a quantidade de mortes resultante da epidemia.

Na determinação dessas políticas de contenção, nosso trabalho considerou dois cenários distintos: um de coordenação e outro de descoordenação. No cenário coordenado, as autoridades públicas adotam trajetórias de políticas de contenção distintas para os estados selecionados, determinadas de forma descentralizada, com base em suas características particulares. No cenário descoordenado, todos os estados adotam uma única trajetória comum de políticas de contenção, determinada de forma centralizada, com base em características de nível federal, de maneira completamente descoordenada das realidades particulares de cada estado.

Na seção 4.1, nós iniciamos analisando exclusivamente as trajetórias de políticas de contenção otimizadas para esses dois diferentes cenários. Os resultados mostraram que a trajetória descoordenada erra em relação às trajetórias coordenadas em nível estadual em duas principais dimensões: em primeiro lugar, prescrevendo uma elevação das taxas de contenção até níveis inferiores ao ideal para todos os cinco estados considerados; e, em segundo lugar, prescrevendo tanto o aperto quanto o relaxamento dessas medidas com grande atraso em relação ao momento ideal, prescrito pelo cenário coordenado, para cada um dos cinco estados considerados.

Ainda nessa seção, observou-se que os erros de condução de políticas decorrentes da descoordenação mostravam-se notadamente maiores para alguns estados, enquanto menores para outros. Em particular, os estados que menos sofreriam erros de condução de política em decorrência da descoordenação seriam os estados do Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP), enquanto os que mais sofreriam seriam os estados do Ceará (CE), Amazonas (AM) e Pernambuco (PE).

Tendo constatado que uma política de contenção determinada no nível federal, descoordenada com as particularidades estaduais, representaria erros de condução de política no nível estadual, nós prosseguimos para a verificação das implicações objetivas, epidêmicas e macroeconômicas, que poderiam resultar da

descoordenação. Com esse objetivo, foram construídas análises contrafactuais em que os estados adotaram, em vez das trajetórias ótimas de taxas de contenção coordenadas computadas com base em suas próprias características, a trajetória da taxa de contenção descoordenada computada desconsiderando as particularidades dos estados.

Na seção 4.2, foi efetuada uma análise qualitativa inicial dos resultados. Verificou-se que a adoção de uma política de combate à epidemia descoordenada em relação às particularidades estaduais implicaria, segundo o modelo utilizado, consequências qualitativas bastante gerais em relação ao cenário coordenado, entre elas:

- i. maiores picos das populações infectadas, ocorrendo mais cedo;
- ii. maiores picos das taxas de mortalidade, ocorrendo também mais cedo;
- iii. recessões econômicas menos profundas, porém mais prolongadas e de mais lenta recuperação, com a descoordenação potencializando, ainda, a ocorrência de recuperações em 'U' ou 'W', em detrimento das recuperações em 'V', características do cenário coordenado;
- iv. menor quantidade de infectados ao fim da epidemia, porém com maior quantidade de mortes acumuladas.

Ainda que os resultados qualitativos tenham se mostrado bastante similares entre os estados, especialmente no que tange a direção dos efeitos, quando são analisados quantitativamente em maior profundidade, apresentam magnitudes bastante distintas.

A seção 4.3 efetua a análise quantitativa dos resultados. São apresentadas evidências de que, entre os estados selecionados para o estudo, os estados do Amazonas (AM), de Pernambuco (PE) e do Ceará (CE) sofrem substancialmente mais, em decorrência da descoordenação, do que os estados de São Paulo (SP) e do Rio de Janeiro (RJ).²² Essa heterogeneidade nos efeitos se mostra particularmente mais acentuada quando analisada em relação ao número total de mortes resultantes das epidemias, indicando que as principais consequências da descoordenação sobre os estados mais vulneráveis são de caráter, acima de tudo, sanitário.

.....
²² Mais uma vez, vale ressaltar que, ainda que os resultados do presente trabalho tenham sido suficientes para apresentar evidências que explicitam tais diferenças, não o foram para identificar as *causas* destas diferenças. Estas causas podem estar relacionadas a uma ampla gama de fatores distintos, variando de questões econômicas, relacionadas aos graus relativos de desenvolvimento dos estados, a questões demográficas, sociais e infraestruturais. A tarefa de identificação destas causas excede o escopo deste trabalho e é deixada em aberto para futuras agendas de pesquisa.

A respeito de todos esses resultados, cabem ao menos dois *caveats*. Em primeiro lugar, evidente é que existem nuances difíceis de serem captadas, uma vez que a descoordenação pode se dar em vários níveis e de diferentes formas. Com efeito, a forma como a descoordenação dos entes estaduais e federais foi modelada no presente trabalho não é a única forma possível de endereçar o problema. Não obstante tendo nosso trabalho apresentado dois cenários que refletem extremos opostos, nós argumentamos que, por meio dos resultados, tornou-se possível avaliar os potenciais máximos das consequências da descoordenação, ao menos na forma em que foi considerada neste trabalho, e como esses potenciais difeririam entre estados do país de naturezas bastante distintas.

Em segundo lugar, um conjunto limitado de apenas cinco estados brasileiros foi considerado para a obtenção dos resultados, sendo que as conclusões gerais, sobre os efeitos da descoordenação, foram a partir daí extrapoladas. Quanto a esse aspecto, nós argumentamos que os cinco estados selecionados abarcam um domínio de diferentes características demográficas, geográficas, sociais e econômicas amplo o suficiente para permitir a generalização dos resultados para os demais estados do país, ao menos à luz do modelo considerado.

Efetuada essas ressalvas, nossos resultados alertam para a importância da coordenação das autoridades públicas, responsáveis pela determinação das políticas de combate à epidemia, com as particularidades de cada estado. Na impossibilidade de perfeita coordenação, nossos resultados alertam para a importância de maior atenção aos estados de maior grau de idiosincrasia – isto é, de características mais distantes da realidade agregada federal –, que, ao que indicam as evidências apresentadas, seriam os mais afetados pela descoordenação. Nós alertamos que a desconsideração da importância da coordenação pode acarretar substancial agravamento das consequências econômicas e, principalmente, sanitárias resultantes da pandemia. Nós consideramos que esses resultados podem ser válidos não apenas para a ocasião da pandemia da Covid-19, como também para eventuais crises epidêmicas futuras, sejam elas de maior ou de menor porte.



Referências

BORELLI, L.; GÓES, G. S. Macroeconomics of epidemics: interstate heterogeneity in Brazil. *Covid Economics: Vetted and Real-Time Papers*, Centre for Economic Policy Research (CEPR), n. 30, p. 83-119, 2020.

EICHENBAUM, M. S.; REBELO, S.; TRABANDT, M. *The macroeconomics of epidemics*. NBER Working Paper, n. 26882, 2020.

FERGUSON, N. M.; CUMMINGS, D. A.; FRASER, C.; CAJKA, J. C.; COOLEY, P. C.; BURKE, D. S. Strategies for mitigating an influenza epidemic. *Nature*, v. 442, p. 448-452, 2006.

FARHI, E.; WERNING, I. *Dealing with the trilemma: optimal controls with fixed exchange rates*. NBER Working Paper, n. 18199, 2012.

FERRARI, T. K.; DUSI, L. D. A.; LOPES, D. A. F.; POMPERMAYER, M. *Estimativa do valor da vida estatística e do valor da economia de tempo em viagens nas rodovias brasileiras com a utilização de pesquisa de preferência declarada*. Texto para Discussão Ipea, n. 2533. Brasília: Ipea, 2019.

KERMACK, W.; MCKENDRICK, A. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London*, series A 115, n. 772, p. 700-721, 1927.

LEE, B. Y.; BROWN, S. T.; COOLEY, P. C.; ZIMMERMAN, R. K.; WHEATON, W. D.; ZIMMER, S. M.; GREFFENSTETTE, J. J.; ASSI, T. M.; FURPHY, T. J.; WAGENER, D. K. A computer simulation of employee vaccination to mitigate an influenza epidemic. *American Journal of preventive medicine*, v. 38, n. 247-257, 2010.

MELLAN, T. *et al.* Estimating Covid-19 cases and reproduction number in Brazil. *Imperial College Covid-19 Response Team Report*, n. 21, 2020.

RABELO, M.; SOARES, J. *The macroeconomics of epidemics: results for Brazil*. Rascunho. 2020.

ROCHA, G.; DE MORAIS, R.; KLUG, L. *O custo econômico da poluição do ar: estimativa de valor da vida estatística para o Brasil*. Texto para Discussão Ipea, n. 2517. Brasília: Ipea, 2019.



Anexo A | Computando o Equilíbrio

Neste anexo é transcrito o método de computação do equilíbrio do modelo conforme exposto em Eichenbaum *et al.* (2020). *In verbis*:

Para uma dada sequência de taxas de contenção $\{\mu_t\}_{t=0}^{H-1}$ e para algum horizonte suficientemente grande H , arbitre sequências para $\{n_t^s, n_t^i, n_t^r\}_{t=0}^{H-1}$. Na prática, nós resolvemos o modelo para $H = 250$. Compute a sequência das variáveis desconhecidas remanescentes em cada uma das seguintes equações de equilíbrio:

$$\theta n_t^r = A \lambda_{bt}^r,$$

$$(c_t^r)^{-1} = (1 + \mu_t) \lambda_{bt}^r,$$

$$u_t^r = \ln \ln c_t^r - \frac{\theta}{2} (n_t^r)^2.$$

Itere retroativamente partindo dos valores de U_t^r do estado estacionário pós-epidêmico:

$$U_t^r = u(c_t^r, n_t^r) + \beta U_{t+1}^r.$$

Calcule a sequência de incógnitas remanescentes nas seguintes equações:

$$(1 + \mu_t) c_t^r = A n_t^r + \Gamma_t \quad (\lambda_{bt}^r),$$

$$\theta n_t^i = \phi^i A \lambda_{bt}^i,$$

$$(c_t^i)^{-1} = \lambda_{bt}^i,$$

$$u_t^i = \ln \ln c_t^i - \frac{\theta}{2} (n_t^i)^2,$$

$$(1 + \mu_t) c_t^s = A n_t^s + \Gamma_t \quad (\lambda_{bt}^s),$$

$$u_t^s = \ln \ln c_t^s - \frac{\theta}{2} (n_t^s)^2.$$

Dados os valores iniciais de Pop_0, S_0, I_0, R_0 e D_0 , itere para frente usando as seguintes equações para $t = 0, \dots, H - 1$:



$$T_t = \pi_1(S_t c_t^s)(I_t c_t^i) + \pi_2(S_t n_t^s)(I_t n_t^i) + \pi_3 S_t I_t,$$

$$Pop_{t+1} = Pop_t - \pi_d I_t,$$

$$S_{t+1} = S_t - T_t,$$

$$I_{t+1} = I_t + T_t - (\pi_r + \pi_d)I_t,$$

$$R_{t+1} = R_t + \pi_r I_t,$$

$$D_{t+1} = D_t + \pi_d I_t.$$

Itere retroativamente partindo dos valores de U_t^s e U_t^i do estado estacionário pós-epidêmico:

$$U_t^i = u(c_t^i, n_t^i) + \beta[(1 - \pi_r - \pi_d)U_{t+1}^i + \pi_r U_{t+1}^r],$$

$$\tau_t = \frac{T_t}{S_t},$$

$$U_t^s = u(c_t^s, n_t^s) + \beta[(1 - \tau_t)U_{t+1}^s + \tau_t U_{t+1}^i].$$

Calcule a sequência das incógnitas remanescentes nas seguintes equações:

$$\beta(U_{t+1}^i - U_{t+1}^s) - \lambda_{\tau t} = 0,$$

$$(c_t^s)^{-1} - \lambda_{b_t}^s(1 + \mu_t) + \lambda_{\tau t} \pi_1(I_t C_t^I) = 0.$$

Finalmente, use um método baseado em gradientes para ajustar os valores arbitrados $\{n_t^s, n_t^i, n_t^r\}_{t=0}^{H-1}$ de modo que as seguintes três equações valham com precisão arbitrária:

$$(1 + \mu_t)c_t^i = \phi^i A n_t^i + \Gamma_t \quad (\lambda_{b_t}^i),$$

$$\mu_t(S_t c_t^s + I_t c_t^i + R_t c_t^r) = \Gamma_t(S_t + I_t + R_t),$$

$$-\theta n_t^s + A \lambda_{b_t}^s + \lambda_{\tau t} \pi_2(I_t n_t^I) = 0$$



Anexo B | Relatório de Dados e Códigos

Calibragem

A calibragem dos parâmetros e variáveis do modelo, para todos os estados e cenários, foi efetuada na planilha *Calibragem.xlsx*, que consta na pasta *Planilhas*. Nessa planilha, na primeira aba, estão listados todos os dados utilizados para a calibragem, bem como a fonte de onde foram obtidos. Estão listados também todos os parâmetros e variáveis que foram calibrados, seus respectivos significados para o modelo e como foram calibrados.

A maioria dos parâmetros foi calibrada de forma automática, diretamente via código. Assim, a planilha *Calibragem.xlsx*, na verdade, tem como foco a calibragem dos parâmetros *alpha_1*, *alpha_2* e *alpha_3*. Na penúltima aba estão os valores de *alpha_1*, *alpha_2* e *alpha_3* calibrados.

Detalhes técnicos sobre a calibragem podem ser conferidos nos apêndices de:

BORELLI, L; GÓES, G. S. Macroeconomics of epidemics: interstate heterogeneity in Brazil. *Covid Economics: Vetted and Real-Time Papers*, n. 30. Centre for Economic Policy Research (CEPR), 2020.

ou

BORELLI, L; GÓES, G. S. *A macroeconomia das epidemias: heterogeneidade interestadual no Brasil*. Texto para Discussão Ipea, n. 2581. 2020.

Códigos

Dentro da pasta “*Códigos*”, temos:

A pasta “*baseline_OPTIMAL*”, que possui os códigos que computam os resultados para o cenário **coordenado**. Esses códigos otimizam as trajetórias de taxas de contenção para cada estado individualmente. Nessa pasta, é otimizada também a trajetória de taxas de contenção para a parametrização a nível federal, do Brasil como um todo. Essa trajetória será utilizada no cenário **descoordenado**. Ela foi extraída para a planilha “*muc_descoordenado.xlsx*”, que consta na pasta.

A pasta “baseline”, que computa os resultados para o cenário **descoordenado**. Utiliza como trajetória de taxas de contenção para todos os estados a trajetória ótima otimizada para o Brasil como um todo nos códigos que constam na pasta “*baseline_OPTIMAL*”.

Obs.: tanto na pasta “*baseline_OPTIMAL*” quanto na pasta “*baseline*”, os resultados já estão executados. Não é necessário reexecutar os códigos para replicar os resultados do artigo.

O arquivo “Fig_Comparativo_Baseline_Estados.m”, que produz todas as figuras que constam no artigo, utilizando os resultados obtidos nas pastas “*baseline_OPTIMAL*” e “*baseline*”. Assim, para replicar os resultados do paper basta executar esse arquivo utilizando o Matlab.

Na pasta “*Figuras*”, estão as figuras que são produzidas ao executar esse código. São as mesmas figuras que constam no artigo.

Planilhas

Na planilha “*Calibragem.xlsx*” são construídas as **tabelas 1 e 2** do artigo. Na planilha “*Taxas de Contenção.xls*”, as **tabelas 3, 4, 5**. Na planilha “*Tabelas 6 a 11.xlsx*”, as **tabelas 6, 7, 8, 9, 10, 11**.

As planilhas “*economic_recession_data.xlsx*”, “*epidemiologic_data.xlsx*” e “*mortality_data.xlsx*” possuem os dados dos resultados dos modelos, utilizados para produzir as tabelas acima.

O arquivo de texto “*results_export.txt*” possui o código que foi utilizado para extrair esses dados dos resultados do Matlab. Para utilizá-lo, primeiro rode os resultados executando o código “*Fig_Comparativo_Baseline_Estados.m*”, que consta na pasta “Códigos”, e, com os resultados carregados no workspace, rode manualmente as linhas de código que estão no arquivo de texto “*results_export.txt*”.

Arquivos

A estrutura de arquivos tanto de “*baseline*” quanto de “*baseline_optimal*” é a seguinte:

states_values.m: arquivo onde são declaradas as parametrizações de cada estado/Brasil.

run.m: arquivo que roda o modelo para cada estado/Brasil. Esse arquivo chama o código '*sir_macro.m*' para cada estado, individualmente, utilizando as parametrizações obtidas de "*states_values.m*". Obs.: alguns parâmetros (a saber, os que não diferem entre estados) são declarados diretamente nesse código.

sir_macro.m: resolve e simula o modelo desenvolvido em Eichenbaum, Rebelo e Trabandt (2020), *The Macroeconomics of Epidemics*. Não é preciso mexer.

Os códigos '*calibrate_pis.m*', '*get_err.m*', '*get_U.m*' e '*go_calibrate_pis.m*' são rotinas necessárias para o cálculo do equilíbrio do modelo e são chamadas a partir do código '*sir_macro.m*'. Não é preciso mexer.

Portanto, em resumo, '*run.m*' obtém as parametrizações de todos os estados de '*state_values.m*' e roda o modelo para cada parametrização chamando o arquivo '*sir_macro.m*'. O arquivo '*sir_macro.m*', por sua vez, utiliza as rotinas '*calibrate_pis.m*', '*get_err.m*', '*get_U.m*' e '*go_calibrate_pis.m*' para computar o equilíbrio.

Os códigos '*sup_title.m*', '*suptitle2.m*', '*suptitle3.m*' e '*suptitle4.m*' são utilizados para produzir os títulos das figuras. Não é preciso mexer.

Assim, caso se deseje replicar os resultados do artigo "*do zero*":

1. Execute "*run.m*" da pasta "*baseline_optimal*" com o Matlab. Assim, serão computados os resultados para o cenário coordenado e a trajetória descoordenada. Esses resultados serão salvos em arquivos dentro da pasta. Não haverá figuras. (Atenção: os resultados podem demorar muito para serem obtidos. Utilizando um processador Intel CORE i7 de sétima geração, o tempo de execução foi de aproximadamente cinco horas).
2. Execute "*run.m*" da pasta "*baseline*". Esse código utilizará a trajetória descoordenada computada em "*baseline_OPTIMAL*" para computar os resultados para o cenário descoordenado. Não haverá figuras.
3. Execute "*Fig_Comparativo_Baseline_Estados.m*", que consta na pasta principal ("*Códigos*"). Esse código utilizará tanto os resultados computados em "*baseline_OPTIMAL*" quanto os resultados computados em "*baseline*" para produzir os resultados finais (figuras) contidas no artigo.

Na prática, você não precisa executar os dois primeiros passos, pois esses códigos já estão "rodados" nas pastas e os resultados já estão registrados e prontos para serem utilizados pelo passo 3. Basta, portanto, executar o passo 3 para obter os resultados do artigo, ou seja, as figuras, conforme constam na pasta "*Figuras*".

Dados utilizados para a calibragem	
Dados	Fonte
Número de pessoas de 14 anos ou mais de idade	SIDRA, Tabela 4093
Nível de ocupação	SIDRA, Tabela 4093
Número de estudantes de 4 anos ou mais de idade, por unidade de Federação	SIDRA, Tabela 983
População residente estimada para o ano de 2019	SIDRA, Tabela 6579
Média de horas habitualmente trabalhadas por semana em todos trabalhos das pessoas de 14 anos ou mais	SIDRA, Tabela 6373
Rendimento médio mensal real domiciliar per capita	PNAD Contínua 2019
Horas diárias dedicadas aos cuidados de pessoas e/ou afazeres domésticos, das pessoas de 14 anos ou mais de idade	SIDRA, Tabela 6730
Número médio de pessoas por domicílio	SIDRA, Tabela 6578
Tempo habitual de deslocamento para o trabalho dos indivíduos	SIDRA, Tabela 3422

Parâmetros/variáveis calibrados		
Parâmetro/variável	Significado	Como foi calibrado
Kappa	Parâmetro que rege a capacidade do sistema de saúde.	Calibrado e declarado diretamente via código.
pi_d	Taxa de mortalidade inicial (livre da influência da capacidade do sistema de saúde)	Utilizado o mesmo valor calibrado por Rabelo e Soares (2020). Declarado diretamente via código.
alpha1	Parcela das transmissões que ocorre no consumo.	Na planilha “Calibragem.xlsx”
alpha2	Parcela das transmissões que ocorre no trabalho.	Na planilha “Calibragem.xlsx”
alpha3	Parcela das transmissões que ocorre em outras atividades.	Na planilha “Calibragem.xlsx”
pi1	Probabilidade de infecção em atividades de consumo.	Calibragem automatizada via código a partir dos valores calibrados de alpha1
pi2	Probabilidade de infecção em atividades de trabalho.	Calibragem automatizada via código a partir dos valores calibrados de alpha2
pi3	Probabilidade de infecção em outras atividades.	Calibragem automatizada via código a partir dos valores calibrados de alpha3
Epsilon	Fração da população infectada em t=0 (% população inicialmente infectada por meios zoonóticos)	Calculada manualmente (a fim de simular uma população inicial de 100 infectados para cada estado) e declarada diretamente no código.
A	Tecnologia	Calibragem automatizada via código, seguindo a mesma estratégia de Eichenbaum et al. (2020)
Theta	Parâmetro que rege a desutilidade do trabalho.	Calibragem automatizada via código, seguindo a mesma estratégia de Eichenbaum et al. (2020)
Beta	Fator de desconto intertemporal.	Utilizado o mesmo valor calibrado por Rabelo e Soares (2020)
phi^i	Produtividade relativa da população infectada.	Utilizado o mesmo valor calibrado por Eichenbaum et al. (2020). Declarado diretamente no código.
delta_c	Probabilidade de descobrimento de tratamento efetivo.	Utilizado o mesmo valor calibrado por Eichenbaum et al. (2020) para simular um tempo médio até a descoberta de 1 ano. Declarado diretamente no código.
delta_v	Probabilidade de descobrimento de vacina.	Utilizado o mesmo valor calibrado por Eichenbaum et al. (2020) para simular um tempo médio até a descoberta de 1 ano. Declarado diretamente no código.



Cadernos

nº 85