



Estatística & Informações
Finanças Públicas

34

**MODELOS ECONOMETRÍCOS DE PREVISÃO DO
PIB-MG 2020 E 2021:
um estudo conjunto da Direi/FJP e do
Cedeplar/UFMG**

Belo Horizonte | 2020

Governador do Estado de Minas Gerais
Romeu Zema Neto
Secretário de Estado de Planejamento e Gestão
Otto Alexandre Levy Reis

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP)

Presidente

Helger Marra Lopes

Vice-presidente

Mônica Moreira Esteves Bernardi

DIRETORIA DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES (Direi)

Eleonora Cruz Santos (Diretora)
Renato Vale Santos (Diretor Adjunto)

Coordenação de Finanças Públicas (CFP)

Reinaldo Carvalho de Moraes

Equipe Técnica

Caio César Soares Gonçalves (Direi/FJP)
Lúcio Otávio Seixas Barbosa (Coordenador do estudo/Direi/FJP)
Rafael Saulo Marques Ribeiro (Cedeplar/UFMG)

Capa

Bárbara Andrade Corrêa da Silva

Coordenação de Editoração

Agda Mendonça
Ana Paula da Silva
Marília Andrade Ayres Frade



DIRETORIA DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES (Direi)
COORDENAÇÃO DE FINANÇAS PÚBLICAS (CFP)

Estatística & Informações

34

MODELOS ECONÔMICOS DE PREVISÃO DO PIB-MG 2020 E 2021:
um estudo conjunto da Direi/FJP e do Cedeplar/UFMG

Belo Horizonte
2020

ISSN 2595-6132

CONTATOS E INFORMAÇÕES
FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO
DIRETORIA DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES (Direi)
Alameda das Acácias, 70
Bairro São Luiz/Pampulha
CEP: 31275-150 - Belo Horizonte - Minas Gerais
Telefones: (31) 3448-9550 e 3448-9580
www.fjp.mg.gov.br
e-mail: comunicacao@fjp.mg.gov.br

Estatística & Informações divulga estudos de uma ou mais pesquisas, de autoria institucional. A série está subdividida em dois grupos: o primeiro, indicadores econômicos; e o segundo, demografia e indicadores sociais.

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, por qualquer meio, desde que citada a fonte.

Sinais convencionais utilizados:

- = Dado numérico igual a zero não resultante de arredondamento.
- .. = Não se aplica dado numérico.
- ... = Dado numérico não disponível.
- 0,0 = Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de um dado numérico originalmente positivo
- 0,0 = Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de um dado numérico originalmente negativo

M689 Modelos econométricos de previsão do PIB-MG 2020 e 2021 : um estudo conjunto da Direi/FJP e do Cedeplar/UFMG / Fundação João Pinheiro, Diretoria de Estatística e Informações. – Belo Horizonte: FJP, 2020.

28 p. – (Estatística & Informações, n. 34)
Inclui bibliografia.
ISSN 2595-6132

1. Econometria – Minas Gerais – 2020/2021. I. Fundação João Pinheiro. Diretoria de Estatística e Informações. II. Série.

CDU: 333.115 (815.1)“2020/2021”

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

GRÁFICOS

- Gráfico 1: Componentes da série *pib* - série observada sazonalidade tendência e ruído – Minas Gerais – 2002-2019 11
- Gráfico 2: Evolução das tendências das variáveis do modelo – Índice de volume de vendas no comércio varejista (*pmc*), Valor adicionado bruto (VAB) DO Comércio (*pib.com*), Produto interno bruto Minas Gerais (*pib*), Valor Adicionado Bruto (VAB) da Indústria (*pib.ind*), Produção física industrial (*pim*) – Minas Gerais – 2002-2019 12
- Gráfico 3: Função Impulso-Resposta ortogonal da equação da primeira diferença da série *pib* (*dpib*) 19
- Gráfico 4: Trajetória da recuperação do produto interno bruto (PIB) – Minas Gerais – série prevista para o índice de volume trimestral dessazonalizado – 2020T3-2023T..... 20
- Gráfico 5: Taxa de crescimento acumulado do produto interno bruto (PIB) em quatro trimestres – Minas Gerais – série prevista para o índice de volume trimestral – 2020T3/2021T4 21
- Gráfico 6: Previsão da série do produto interno bruto MG (*pib*) dentro da amostra - modelos vetores auto regressivos (VAR) e espaço de estados (EE) – Minas Gerais – 2002-2019 23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das variáveis utilizadas nos modelos de previsão	10
Tabela 2: Medidas de acurácia dentro e fora da amostra – erro médio (ME) raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro absoluto médio (MAE) – modelos vetores auto regressivos (VAR) e espaço de estados (EE)	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF	Dickey-Fuller Aumentado
Bacen	Banco Central do Brasil
Cedeplar	Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional
<i>Covid</i>	<i>CO</i> rona <i>V</i> irus Disease (Doença do Coronavírus)
Direi	Diretoria de Estatística e Informações
DP	Desvio padrão
EE	Espaço de estados
FJP	Fundação João Pinheiro
FMI	Fundo Monetário Internacional
<i>FOB</i>	<i>Free on board</i> - “livre a bordo”
FRI	Função de resposta ao impulso
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAE	Erro absoluto médio
MAPE	Erro absoluto percentual médio
ME	Erro médio
MG	Minas Gerais
NID	Normal e independentemente distribuída
PIB	Produto Interno Bruto
PIB-MG	Produto Interno Bruto – Minas Gerais
PIM	Produção física industrial
PMC	Índice de volume de vendas no comércio varejista
RMSE	Raiz do erro quadrático médio
RMSPE	Raiz do erro percentual quadrático médio
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
VAB	Valor adicionado bruto
VAR	Vetores auto regressivos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	DADOS	10
3	METODOLOGIA	13
3.1	Modelos vetores auto regressivos (VAR): teoria	13
3.2	Modelos espaço de estados: teoria	14
4	RESULTADOS	18
4.1	Resultados do modelo valores auto regressivos (VAR)	18
4.2	Resultados do modelo Espaço de Estados	20
4.3	Comparação dos resultados	21
5	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS	25

APRESENTAÇÃO

A série “Estatística & Informações” divulga os estudos produzidos pela Diretoria de Estatística e Informações (Direi), da Fundação João Pinheiro (FJP), em seus mais diversos recortes ao tratar dos indicadores econômicos, demográficos e sociais. Em sua edição número 34 apresenta o relatório metodológico com os modelos econométricos utilizados para previsão do Produto Interno Bruto de Minas Gerais (PIB-MG) 2020 e 2021. Trata-se de um estudo conjunto da Direi/FJP com o Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais (Cedeplar/UFMG).

1 INTRODUÇÃO

A previsão do crescimento da economia é objeto de grande interesse da sociedade. A partir dela, empresários balizam suas decisões de produção para atender a demanda futura; governantes planejam seus gastos e trabalhadores avaliam suas decisões de consumo.

Desde o início da crise da *corona virus disease* (Covid-19), analistas tentam estimar a queda de Produto Interno Bruto (PIB) em 2020 e sua recuperação em 2021. Nesse contexto, foram sugeridos diversos formatos para a trajetória de recuperação das economias, remetendo às letras do alfabeto: *V*, *U*, *W*, *L*, *Z* e *K*. Essas trajetórias de recuperação têm sido exploradas recorrentemente na mídia (ROUBICEK, 2020; CANZIAN, 2020). Cada uma delas se associa a diferentes hipóteses sobre a recuperação da economia:

- recuperação em *V*: após uma forte queda, há uma recuperação rápida e acentuada, retornando ao nível original;
- recuperação em *U*: a economia volta a crescer após a queda, mas a um ritmo mais lento, levando mais tempo para retomar ao padrão anterior;
- recuperação em *V* da *Nike*: aproxima-se da ideia de recuperação em *U*, assumindo-se que a recuperação começa mais forte inicialmente, perdendo intensidade ao longo do tempo;
- recuperação em *W*: há sucessivas quedas e retomadas, que no caso da pandemia estariam ligadas à alternância entre momentos de isolamento social e de abertura da economia;
- recuperação em *L*: depois do choque inicial da crise, a economia não consegue voltar aos níveis anteriores;
- recuperação em *Z*: assemelha-se, na verdade, a um *N* inclinado. Depois do choque inicial, a economia se recupera fortemente, superando os níveis pré-crise;
- recuperação em *K*: nesse caso, supõe-se que, após a crise, os mais ricos e as maiores companhias se recuperam, mas os trabalhadores e as empresas menores empobrecem, abrindo a distância entre os dois grupos.

Dentre essas possibilidades, os formatos de recuperação mais citados (ROUBICEK, 2020) são em *V* e em *U*. Os dados de volume de vendas no varejo referentes a junho de 2020, divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sugerem uma recuperação mais parecida com um *V*. No entanto, o varejo é apenas uma parte da economia e seu comportamento não pode ser generalizado.

Em geral, as estimativas para a economia brasileira, coletadas em junho de 2020, apontavam para uma recuperação em *U*. De acordo com estudo da Fundação João Pinheiro (FJP, 2020), o Fundo Monetário Internacional (FMI) estimou uma queda de 9,1% do PIB brasileiro em 2020 e um crescimento de 3,6% em 2021; o Banco Mundial projetou uma queda de 8% seguida de recuperação de 2,2%; e o Banco Central do

Brasil (Bacen) calculou uma retração de 6,5% em 2020 e crescimento de 3,5% em 2021. Portanto, no melhor cenário, a economia brasileira recuperaria em 2021 apenas pouco mais da metade da queda a ser registrada neste ano.

A estimativa para a economia mineira realizada em junho pela da FJP (2020a) calculou uma queda de 4,9% do PIB em 2020. A melhor performance do estado mineiro, quando comparada à do Brasil, se deveu à projeção de queda menos acentuada no segundo trimestre: -7,7% (em relação ao primeiro trimestre de 2020) ante -9,7% para o Brasil. Esse resultado estaria associado à diferença de estrutura produtiva, sendo que, em Minas Gerais, o peso da agricultura é maior e dos serviços menor do que no Brasil.

A questão que este estudo busca responder é quais serão as taxas de crescimento do PIB mineiro em 2020 e 2021 e, subsidiariamente, indicar o formato de recuperação da economia mineira. O ponto de partida são os dados divulgados do PIB mineiro referentes ao segundo trimestre deste ano (FJP, 2020b), que indicaram uma queda de -9,8% do PIB em relação ao primeiro trimestre de 2020 (similar à verificada para o Brasil, -9,7%)¹. Para projetar o PIB, são utilizadas duas classes de modelos econométricos: os modelos de vetores auto regressivos (VAR) e os modelos espaço de estados (EE).

O estudo está estruturado da seguinte forma: a próxima seção apresenta os dados utilizados, detalhando brevemente a série do PIB de Minas Gerais. A seção 3 revisa os aspectos teóricos dos modelos econométricos. A seção 4 apresenta os resultados de ambos modelos, comparando-os. Na seção 5 são registradas as considerações finais.

¹ O estudo da FJP (2020a) estimou uma queda no setor de serviços em Minas Gerais inferior à do Brasil, diferente do que foi efetivamente observado.

2 DADOS

Para estimar os modelos de previsão para o PIB de Minas Gerais foi escolhido o conjunto de variáveis descrito na Tabela 1. O período utilizado compreende do primeiro trimestre de 2002 ao quarto trimestre de 2019, totalizando 72 observações. Os dados mais recentes do PIB, do primeiro e segundo trimestre de 2020, foram utilizados apenas para se calcular as projeções.

Tabela 1: Descrição das variáveis utilizadas nos modelos de previsão

Variável	Detalhamento	Fonte
pib	PIB-MG - série encadeada do índice de volume trimestral (média 2002=100)	FJP-MG
pib.ind	Valor adicionado bruto (VAB) da indústria - série encadeada do índice de volume trimestral (média 2002=100)	FJP-MG
pib.com	Valor Adicionado Bruto (VAB) do Comércio - série encadeada do índice de volume trimestral (média 2002=100)	FJP-MG
pim	Produção Física Industrial - Índice de base fixa sem ajuste sazonal (média 2002 = 100)	IBGE
pmc	Índice de volume de vendas no comércio varejista (média 2002 = 100)	IBGE
exp	Exportações - Índice de valor FOB - US\$ (média 2002=100)	Comexstat

Fonte: Elaboração própria.

Nota: FJP: Fundação João Pinheiro. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. MG: Minas Gerais.

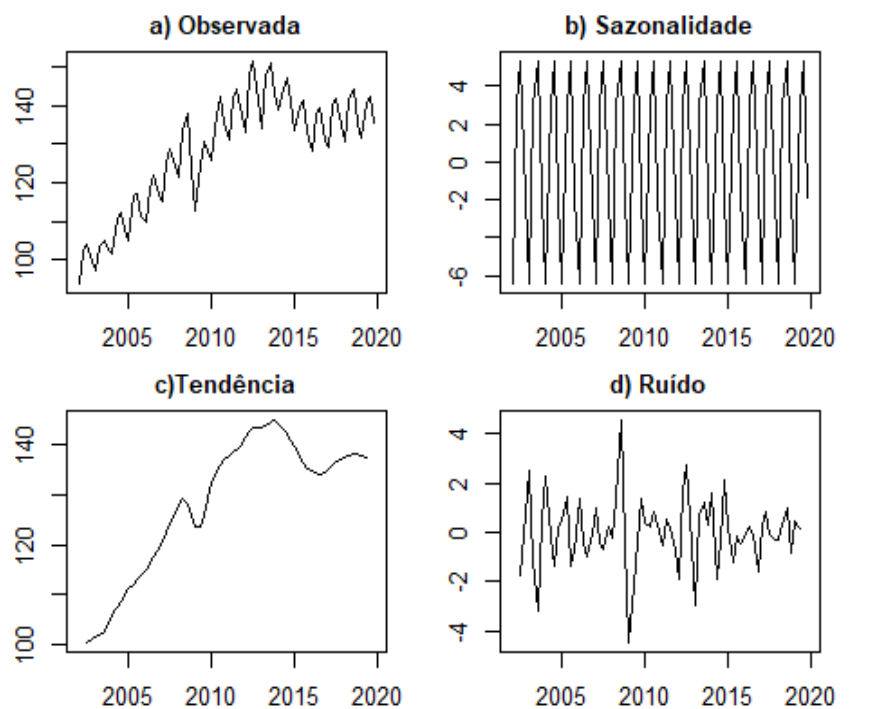
O comportamento da série do *pib* pode ser decomposto em nível, tendência, sazonalidade e ruído. O Gráfico 1 mostra esses quatro componentes.

A partir do Gráfico 1b, identifica-se o componente sazonal da série. No segundo e terceiro trimestres a produção mineira é maior. O Gráfico 1c mostra a tendência da série e sugere duas trajetórias diferentes nos períodos de crise econômica. Na crise econômica de 2009, o PIB mineiro retraiu, em 2009, 3,9%; no ano seguinte, o crescimento foi de 9,1%. Houve uma recuperação econômica em forma de *Z*, sendo que, em 2010, a economia mineira, além de “devolver” toda a perda de PIB registrada em 2009, cresceu mais 5,1%. Na crise econômica que se estendeu de 2014 a 2016, o PIB mineiro retraiu 7%²; nos anos seguintes, 2017 e 2018, o crescimento acumulado foi de 2,8%. Observa-se, então, um padrão de recuperação lento, que se aproxima de um formato em *U*, muito embora ainda não se tenha alcançado o nível pré-crise. Nesses dois anos, a economia mineira ficou distante de “devolver” a perda de PIB associada à crise. Em 2019, Minas Gerais registrou novamente uma taxa de crescimento levemente negativa, em parte em função do desastre ocorrido

² Soma das taxas acumuladas de crescimento nos anos de 2014, 2015 e 2016.

em Brumadinho (FJP, 2019). O Gráfico 1d mostra o componente de erro da série, que é maior nos períodos de crises econômicas (rupturas da série).

Gráfico 1: Componentes da série *pib* - série observada sazonalidade tendência e ruído – Minas Gerais – 2002-2019



Fonte: Dados básicos: FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2020.

Elaboração própria.

Nota: MG: Minas Gerais. pib (série trimestral do PIB-MG). PIB: Produto interno bruto.

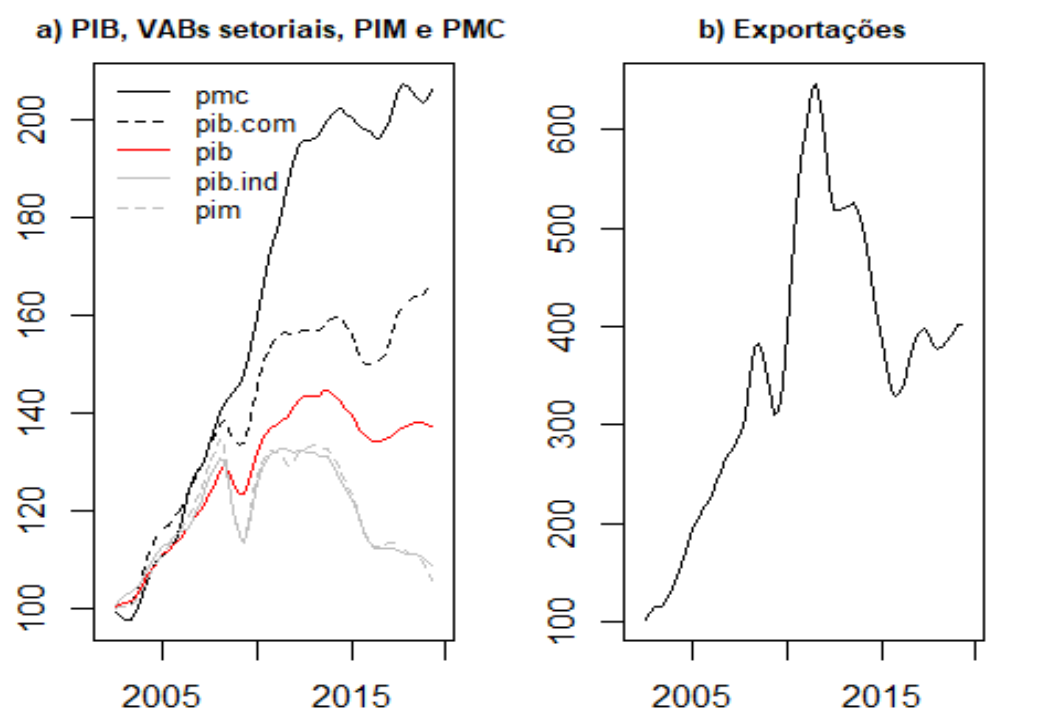
O Gráfico 2 mostra a evolução da tendência³ de todas as variáveis candidatas a serem utilizadas nos modelos econométricos. As variáveis que compõem o cálculo do PIB mineiro pelo lado da oferta foram agrupadas no Gráfico 2a. O Gráfico 2b mostra a tendência da evolução do índice de preço das exportações (as exportações são utilizadas para calcular o PIB pelo lado da demanda).

Depois da crise entre 2014 e 2016, observa-se que a tendência do Valor Adicionado Bruto (VAB) do comércio⁴, que em 2017 respondeu por 12,5% do PIB, tem uma inclinação forte, sugerindo crescimento; padrão semelhante se observa para o índice de varejo da PMC, que não inclui o ramo atacadista; a tendência do VAB da indústria, equivalente a 25,5% do PIB em 2017, e do índice de produção física da indústria (PIM) sugerem queda; e a tendência do índice de valor das exportações indica certa estabilidade no período mais recente.

³ A tendência é calculada a partir de uma média móvel.

⁴ O VAB do comércio compõe o VAB dos serviços, representando 18%.

Gráfico 2: Evolução das tendências das variáveis do modelo – Índice de volume de vendas no comércio varejista (*pmc*), Valor adicionado bruto (VAB) DO Comércio (*pib.com*), Produto interno bruto Minas Gerais (*pib*), Valor Adicionado Bruto (VAB) da Indústria (*pib.ind*), Produção física industrial (*pim*) – Minas Gerais – 2002-2019



Fonte: Dados básicos: FJP (2020c), IBGE(2020) e BRASIL (2020).

Elaboração própria.

Nota: pib: série trimestral do PIB-MG. pib.com: série trimestral do valor adicionado bruto (VAB) do comércio. pib.ind: série trimestral do valor adicionado bruto (VAB) da indústria. pim: série trimestral da produção física industrial. pmc: série trimestral do índice de volume de vendas no comércio varejista.

3 METODOLOGIA

Neste estudo, para a previsão do PIB mineiro, são utilizadas duas classes de modelos: modelos VAR e EE.

3.1 Modelos vetores auto regressivos (VAR): teoria⁵

Nos modelos de Vetores Auto Regressivos (VAR), cada variável é definida em função de seus próprios valores defasados e dos valores defasados das outras variáveis. As séries são então modeladas conjuntamente em um sistema de equações. Esse tipo de análise é particularmente útil quando não se tem certeza de que variáveis são exógenas no modelo.

Pode-se expressar um modelo VAR de ordem p por um vetor com n variáveis endógenas estacionárias, X_t

$$BX_t = \Gamma_0 + \sum_{i=1}^p \Gamma_i X_{t-1} + \epsilon_t \quad (1)$$

sendo:

B matriz $n \times n$ que define as restrições contemporâneas entre as variáveis que constituem o vetor X , $n \times 1$

Γ_0 vetor de constantes $n \times 1$; Γ_i matrizes $n \times n$

ϵ_t vetor $n \times 1$ de perturbações aleatórias, $\epsilon_t \sim RB(0, \sigma_n^2)$.

O modelo (1) é normalmente estimado na forma reduzida, ou seja

$$X_t = A_0 + \sum_{i=1}^p A_i X_{t-1} + e_t \quad (2)$$

em que

$$A_i = B^{-1}\Gamma_i \forall i = 0, 1, \dots, p \text{ e } e_t = B^{-1}\epsilon_t.$$

Antes de estimar-se o modelo VAR, realizou-se o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) de raiz unitária. Os testes sugerem que as variáveis incluídas no VAR são integradas de ordem 1. Assim, o modelo foi estimado para as variáveis em primeira diferença. Além disso, todas as variáveis utilizadas no VAR foram previamente dessazonalizadas com base no método X-13 ARIMA.

Uma vez estimado o modelo VAR, realizaram-se, além do teste de estabilidade, os testes de verificação dos resíduos. Para que o estimador de Mínimos Quadrados Ordinários utilizado na estimação dos parâmetros do VAR sejam os melhores estimadores lineares não-viesados, os resíduos do modelo devem ser homocedásticos, não autocorrelacionados e normalmente distribuídos. Para isso, realizam-se testes que

⁵ Essa seção se baseou em Enders (2004).

verifiquem a validade dessas hipóteses. Um breve resumo desses testes e dos resultados obtidos para o modelo VAR estimado são apresentados abaixo:

- teste de estabilidade: o inverso das raízes do polinômio característico se encontra dentro do círculo unitário, indicando que o modelo satisfaz o critério de estabilidade;
- teste de autocorrelação de Portmanteau: o teste sugere a ausência de autocorrelação dos resíduos;
- teste ARCH-LM de heterocedasticidade: o teste sugere que os erros não são heterocedásticos.;
- teste de Jarque-Bera de normalidade multivariado: o teste sugere que os erros são normalmente distribuídos.

Uma vez verificada a validade das hipóteses do modelo VAR, partiu-se para a análise das Funções de Resposta ao Impulso (FRI). Os modelos VAR, assim como os modelos autorregressivos, podem ser escritos como um vetor de média móvel, em que as variáveis endógenas são expressas em termos dos valores correntes e passados dos choques não explicados pelo modelo. Essa representação permite avaliar a resposta dinâmica ao choque de um desvio-padrão em cada variável do modelo, isso é, a FRI projeta os efeitos de um choque (inovação) em uma variável sobre a resposta de todas as variáveis do sistema.

Para identificar as FRIs é necessário impor alguma restrição adicional no sistema primitivo (1). A partir do modelo na forma reduzida [equações (2)] não é possível recuperar todas as informações do modelo primitivo, pois nele existem mais parâmetros do que na forma reduzida. Desse modo, é necessário restringir um dos parâmetros do modelo na forma reduzida. No presente trabalho, aplicou-se uma decomposição de Choleski para impor as restrições necessárias para a identificação dos choques estruturais.

O cálculo da FRI auxilia a investigar como a economia mineira reage a um choque negativo não esperado, como é o efeito provocado pela paralisação das atividades não essenciais durante a quarentena. Dessa forma, a informação sobre o tempo de reação da economia é utilizada no cálculo da projeção.

3.2 Modelos espaço de estados: teoria⁶

Os modelos espaço de estados constituem uma estrutura geral para modelar sistemas dinâmicos, permitindo separar as variáveis observáveis daquelas que descrevem o real estado do sistema. A abordagem básica assume que o desenvolvimento do sistema ao longo do tempo é determinado por uma série de vetores não observados, $\alpha_1, \dots, \alpha_n$, que estão associados a vetores observados, y_1, \dots, y_n . A relação entre α_t 's e y_t 's é

⁶ Essa seção se baseou em Commandeur, Koopman e Ooms (2011).



especificada a partir de um modelo de espaço de estados. O objetivo é inferir as principais propriedades de α_t 's a partir do conhecimento do sistema especificado e das realizações de y_t 's.

O modelo espaço de estados pode ser representado a partir das seguintes equações:

$$y_t = Z\alpha_t + \epsilon_t; \epsilon_t \sim NID(0, H_t) \quad (3)$$

$$\alpha_{t+1} = T\alpha_t + R\eta_t; \eta_t \sim NID(0, Q_t) \quad (4)$$

em que: α_t é o vetor de estado; ϵ e η são vetores de erros; e Z_t, T_t, R_t, H_t, Q_t são matrizes fixas e conhecidas⁷.

A equação (3) é a equação de medida e descreve a relação entre as variáveis observadas y_1, \dots, y_t e as variáveis não observadas de estado α 's. A equação (4) é a equação de estado e descreve a dinâmica das variáveis não observáveis $\alpha_1, \dots, \alpha_n$. A média e a variância do vetor inicial de estado α_1 usualmente são tratadas como exógenas e conhecidas, geradas a partir de uma distribuição normal e independentemente distribuída (*NID*). E cada um desses componentes terão uma equação que represente suas transições no tempo. A existência de termo de erro nessas equações gera diferenciações nos modelos quanto ao tratamento dos componentes. Por exemplo, acrescentar o termo de erro na equação da inclinação e não incluir no nível, ou seja, inclinação aleatória e nível determinístico, gera um modelo de tendência suavizada. Da mesma forma que séries com um padrão de sazonalidade praticamente constante podem ser tratadas com a inclusão de um componente de sazonalidade determinístico, portanto, não incluindo um componente aleatório em sua equação.

Suponha uma série temporal y_t expressa na forma aditiva:

$$y_t = \mu_t + \epsilon_t; \epsilon_t \sim NID(0, H_t) \quad (5)$$

$$\mu_{t+1} = \mu_t + \xi_t; \xi_t \sim NID(0, Q_t) \quad (6)$$

O componente de nível μ_t é análogo ao intercepto nos modelos de regressão lineares $y_t = \mu_t + \epsilon_t$. A diferença chave é que o componente de nível em (6) pode se alterar a cada ponto no tempo. Esse modelo é conhecido como o modelo de nível local.

A partir da estrutura representada por (3) e (4), diversos modelos de séries temporais podem ser desenvolvidos, incluindo a tendência, sazonalidade, ciclos, etc. O modelo estrutural básico inclui nível, tendência e sazonalidade entre os componentes de estado.

Outra extensão possível dos modelos espaço de estados é a incorporação de variáveis explicativas fixas.

$$y_t = \mu_t + \beta_t x_t + \epsilon_t; \epsilon \sim NID(0, \sigma_\epsilon^2)$$

⁷ Mas alguns elementos podem depender de parâmetros desconhecidos.

$$\begin{aligned}\mu_{t+1} &= \mu_t + \xi_t; \xi \sim NID(0, \sigma_\xi^2) \\ \beta_{t+1} &= \beta_t\end{aligned}\quad (7)$$

O sistema de equações (7) pode ser representado a partir da equação de estado e de medida. Nesse caso, as matrizes do sistema (3) e (4) correspondem a:

$$\begin{aligned}\alpha_t &= \begin{pmatrix} \mu_t \\ \beta_t \end{pmatrix}, \eta_t = \xi_t, T_t = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, Z_t = (1 \quad x_t) \\ H_t &= \sigma_\epsilon^2, Q_t = \begin{pmatrix} \sigma_\xi^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, R_t = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}\end{aligned}\quad (8)$$

Esse é o modelo de nível local com uma variável explicativa. Caso se adicione um termo de erro à equação dos β , permite-se que o parâmetro da regressão varie no tempo.

Dados os valores das matrizes do sistema e das condições iniciais (vetor inicial), o vetor de estado pode ser estimado de três formas diferentes, gerando as estimativas conhecidas como filtradas, previstas e suavizadas. Nas primeiras duas estimativas, aplica-se o algoritmo denominado filtro de Kalman⁸. Ele permite o cálculo dos valores previstos de estado com base em $y_1 = y_2, \dots, y_{t-1}$ e dos valores filtrados com base em y_1, \dots, y_t e nos erros de previsão. Na terceira, utilizam-se os valores filtrados e aplica-se algoritmo de suavização de estado e erros que utiliza todas observações y_1, \dots, y_n .

Considerando as equações (5) e (6), o estado estimado a partir do filtro de Kalman no ponto $t+1$ é denotado por $\mu_{t+1} = E_t[\mu_{t+1}|y_t]$ e a variância estimada é denotada por $P_{t+1} = var[\mu_{t+1}|y_t]$; a fórmula central do filtro pode ser representada por:

$$\mu_{t+1} = \mu_t + K_t(y_t - \mu_t) \quad (11)$$

Observe a equação de medida $\epsilon_{t+1} = y_{t+1} - \mu_{t+1}$. Esses erros podem ser chamados de inovações um passo à frente, pois trazem novas informações para o filtro de Kalman. A variância dos erros de inovação é referida por $\sigma_{e,t}$ e a diferença entre $\mu_{t+1} - \mu_t$ é chamada de erro de previsão.

O valor de K_t é conhecido como ganho de Kalman. Se a incerteza do estado com base em informações passadas da variável de estado é alta, então a variância do erro de previsão será alta. Nesse caso, o ideal é que K_t tenda à unidade, permitindo que inovações tenham um grande impacto sobre o próximo valor de estado.

⁸ Ver Hamilton (1994).



Em relação ao algoritmo de suavização, a ideia geral é relacionar a estimativa de μ_t ao valor observado de μ_t no mesmo ponto de tempo. No filtro de Kalman, a estimativa um passo à frente, os valores de μ_{t+1} são muito influenciados pelas observações do período anterior y_t .

Para estimar as variâncias não conhecidas do modelo (H_t e Q_t), conhecidas como hiperparâmetros, pode-se utilizar a função de máxima verossimilhança. Na prática, aplica-se um método de maximização da função de log-verossimilhança (otimização numérica, método de Newton, etc.) até que se encontre o vetor de hiperparâmetros que maximiza a probabilidade de o processo descrito pelo modelo ter se originado dos dados observados.

Neste estudo, foi utilizado um modelo estrutural básico univariado, que inclui os componentes nível, tendência e sazonalidade. Foram também incluídas variáveis explicativas, adicionando um termo de erro à equação dos coeficientes, isso é, permitindo a estimação de coeficientes de regressão que variam no tempo. Na equação de estado, assumiu-se a hipótese de que a variância do componente do termo de erro fosse igual a zero - modelo de tendência suavizada. Dessa forma, a parte aleatória vem da tendência e não do nível.

4 RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se, primeiramente, os resultados de cada modelo, comparando-os em seguida.

4.1 Resultados do modelo valores auto regressivos (VAR)

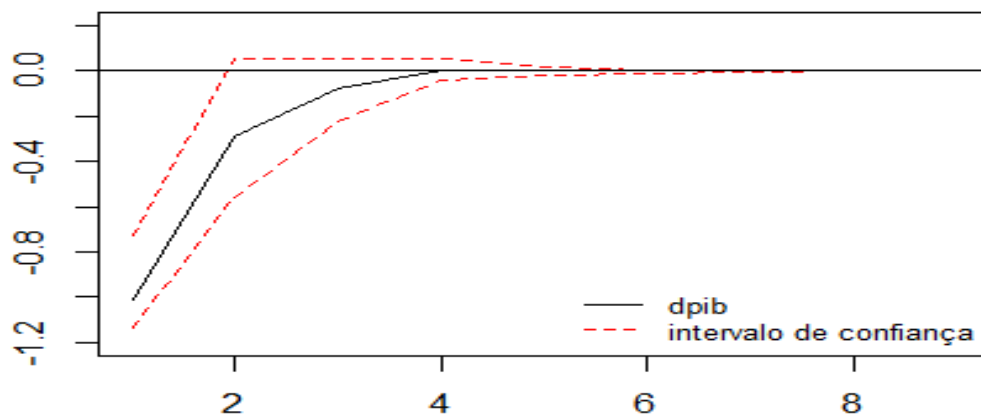
Foram utilizadas as seguintes variáveis no modelo VAR: *exp*, *pib.ind*, *pib.com* e *pib*. Adicionalmente, foi utilizada uma variável exógena (*dummy*), que assumiu valor igual a um nos trimestres em que se identificou uma queda brusca na série do *pib*, quais sejam: quarto trimestre de 2018, primeiro trimestre de 2009 e segundo trimestre de 2014. O modelo VAR selecionado com base na especificação mais parcimoniosa que satisfaz os testes de verificação dos resíduos foi o VAR (1), isso é, incluindo uma defasagem de cada variável, com constante. Todas as séries estão em primeira diferença. Destaca-se, ainda, que se optou por dessazonalizar as variáveis do modelo por meio do método X-13 ARIMA, tendo como objetivo prever as taxas de crescimento anual.

A partir desse modelo, estimou-se a previsão do PIB para 2020 e 2021 em um cenário base sem levar em consideração o choque adverso provocado pela pandemia. Os resultados desse cenário base sugerem que, na ausência do choque negativo gerado pela pandemia, a economia mineira teria crescido a uma taxa acumulada de 2,2% em 2020 e 2,5% em 2021. Os resultados estão em linha com as estimativas do relatório *focus* de 10 de janeiro de 2020 (BCB, 2020), a partir do qual a mediana das projeções de crescimento para a economia brasileira teria sido de 2,3% em 2020 e 2,5% em 2021.

Entretanto, vale frisar que essas são estimativas geradas a partir de dados anteriores ao início da crise da Covid-19. Para modelar a previsão do PIB após essa crise, foi utilizada a FRI para a equação do *pib*. A ordenação de Choleski, necessária para a identificação do modelo, seguiu esta sequência da variável considerada a mais exógena para a mais endógena: *exp* -> *ind* -> *com* -> *pib*. O valor do choque corresponde a um desvio padrão (-1 D.P) do termo de erro da equação. O Gráfico 3 mostra o resultado da FRI para a equação do *pib*.

A partir do Gráfico 3, observa-se que apenas o choque no período corrente é estatisticamente diferente de zero. Esse resultado sugere que passado o choque inicial, a economia mineira “religa” já no semestre seguinte, voltando a crescer.

Gráfico 3: Função Impulso-Resposta ortogonal da equação da primeira diferença da série *pib* (dpib)



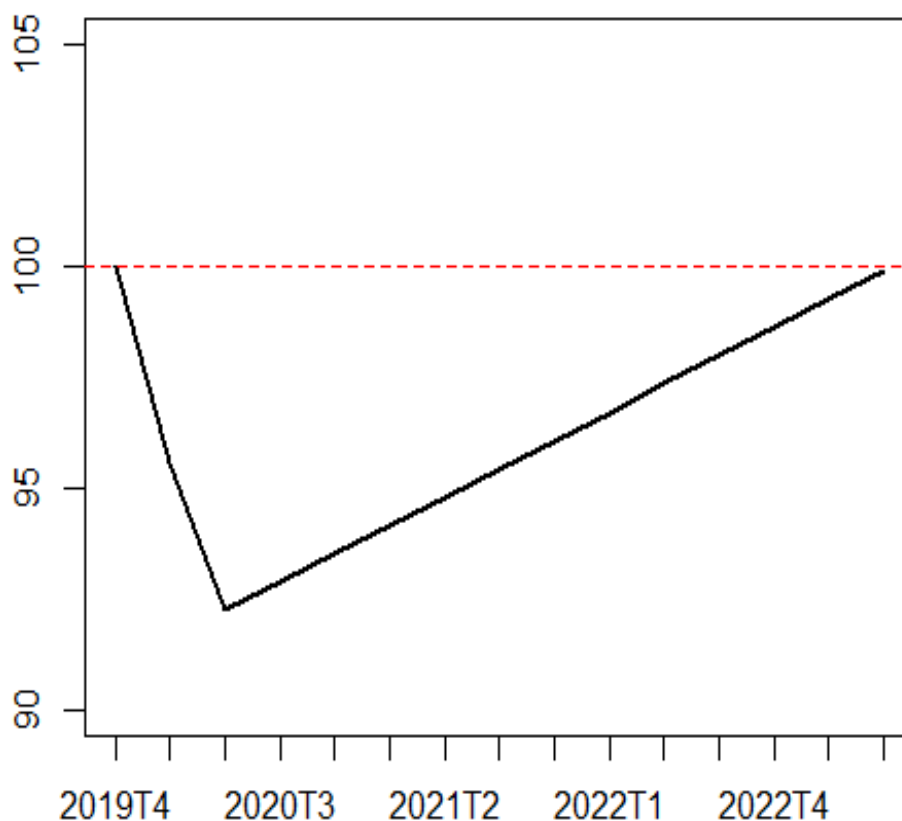
Fonte: Elaboração própria.

Nota: dpib: diferença da série pib.

Para estimar a previsão do PIB mineiro depois do choque, utilizam-se os valores de previsão do modelo VAR, substituindo-se os valores previstos para o primeiro e segundo trimestre de 2020 pela primeira diferença dos valores efetivamente observados. Considerando esses dois choques, estima-se queda de -6,2% do PIB em 2020 e crescimento de 1,7% em 2021.

O Gráfico 4 mostra o formato da recuperação. Com base nesses resultados, a trajetória de recuperação mineira se daria em formato similar ao *V* da *Nike*, retomando seu nível pré-crise somente no segundo trimestre de 2023.

Gráfico 4: Trajetória da recuperação do produto interno bruto (PIB) – Minas Gerais – série prevista para o índice de volume trimestral dessazonalizado – 2020T3-2023T



Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os valores foram normalizados considerando 2019T4 = 100

4.2 Resultados do modelo Espaço de Estados

No caso do modelo EE, partindo do modelo estrutura básico, foram também incluídas as seguintes variáveis regressoras: *pmc*, *pim* e *exp*. Os valores foram previstos a partir do filtro de Kalman, utilizando-se os dados já conhecidos para o primeiro e segundo trimestre de 2020. As variáveis não foram dessazonalizadas.

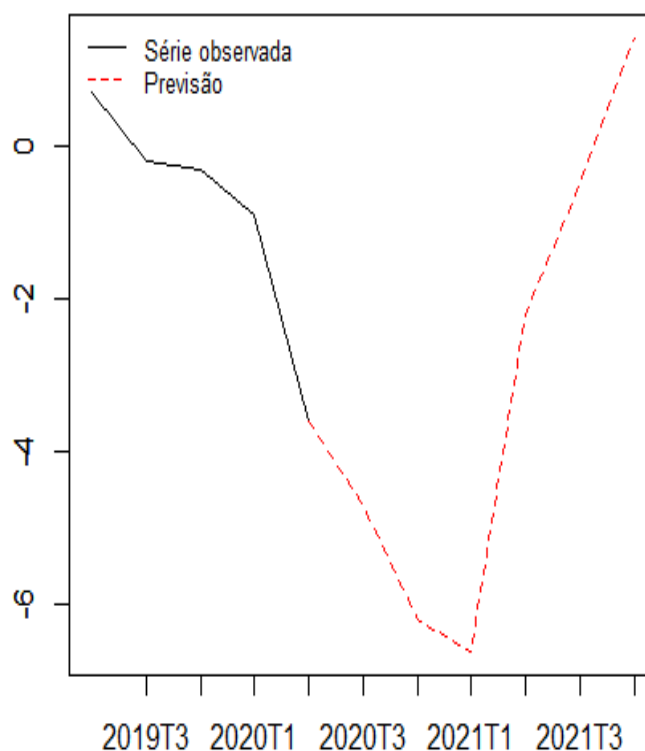
Os resultados do modelo EE ficaram bastante sensíveis a alterações nas janelas de previsão. Destaca-se que a cada novo valor previsto, o filtro de Kalman ajusta novamente suas previsões nas séries suavizadas, utilizadas neste trabalho. Adicionalmente, os dados das variáveis explicativas se interrompem no final de



2019, não trazendo novas informações para a variável de estado. Desse modo, o efeito da pandemia se concentra na tendência e na sazonalidade da série do *pib*.

Um resultado não esperado foi a previsão de crescimento negativo em 2020 (-4,3%)⁹, mesmo antes de se inserir os choques do primeiro e segundo trimestre de 2020. Quando se consideram os choques, com base nesse modelo, a previsão para a taxa acumulada de crescimento do PIB é de -6,2 em 2020 e 1,4 em 2021 (GRÁFICO 5).

Gráfico 5: Taxa de crescimento acumulado do produto interno bruto (PIB) em quatro trimestres – Minas Gerais – série prevista para o índice de volume trimestral – 2020T3/2021T4



Fonte: Elaboração própria.

4.3 Comparação dos resultados

Para comparar os resultados dos modelos de previsão, foram utilizadas medidas de acurácia para a previsão dentro da amostra e fora da amostra. O primeiro método utiliza toda a informação disponível na amostra

⁹ A janela de previsão inclui os quatro trimestres de 2020.

para estimar o modelo, avaliando seu poder preditivo em relação às observações dentro da própria amostra. O segundo consiste em estimar o modelo utilizando parte da amostra, realizando previsões para o restante das observações. Neste estudo, para os testes fora da amostra, os modelos foram estimados de 2002.Q1 a 2018.Q4. Posteriormente, foram comparados os resultados previstos para 2019 com os efetivamente observados no mesmo período.

Existem diversas medidas de acurácia que comparam o valor previsto com o valor observado. Dentre elas, existem aquelas que dependem da escala do dado, que não devem ser utilizadas para a comparação de dados com escala diferente. Nesse grupo, estão o erro médio (ME), a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o erro absoluto médio (MAE). As medidas com base em erros percentuais independem da escala dos dados e são utilizadas para comparações com diferentes conjuntos de dados. Entre elas, incluem-se o erro absoluto percentual médio (MAPE) e a raiz do erro percentual quadrático médio (RMSPE).

Neste estudo, optou-se por expressar as previsões na mesma escala. Nesse caso, as previsões do modelo VAR, que se referem à primeira diferença, foram transformadas em nível. No modelo EE, a previsão fora da amostra foi atualizada a cada nova informação incluída. A Tabela 2 mostra os resultados para a previsão dentro da amostra (*in sample*) e fora da amostra (*out of sample*).

Tabela 2: Medidas de acurácia dentro e fora da amostra – erro médio (ME) raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro absoluto médio (MAE) – modelos vetores auto regressivos (VAR) e espaço de estados (EE)

Descrição	ME	RMSE	MAE
VAR - <i>in sample</i>	9.57	11.69	9.59
EE - <i>in sample</i>	-0.66	3.16	2.46
VAR - <i>out of sample</i>	-0.71	0.98	0.73
EE - <i>out of sample</i>	-1.02	1.84	1.75

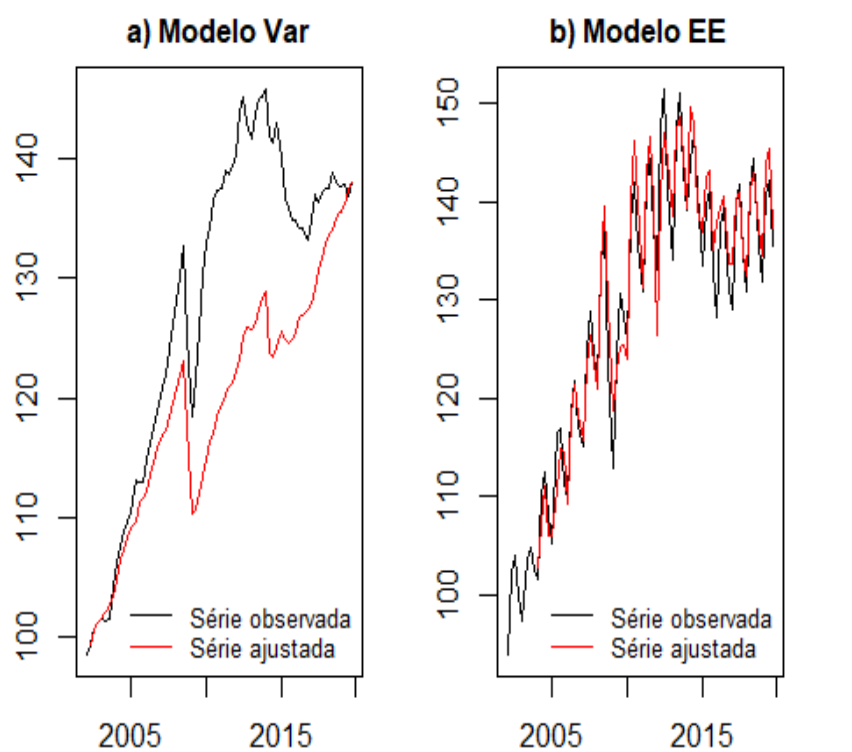
Fonte: Elaboração própria.

Nota: EE: espaço de estados. MAE: erro absoluto médio. ME: erro médio. RMSE: raiz do erro quadrático médio. VAR: vetores auto regressivos.

Os resultados das medidas de acurácia dentro da amostra sugerem que as previsões do modelo EE são superiores (quanto menor o valor, melhor a previsão). Observa-se que o modelo VAR, que modela a primeira diferença da série do *pib*, não se ajusta tão bem ao nível da série. Após a crise entre 2014 e 2016, o modelo é mais otimista em relação à recuperação da economia. Já os valores ajustados do modelo EE estão mais próximos aos valores observados da série (GRÁFICO 6).



Gráfico 6: Previsão da série do produto interno bruto MG (*pib*) dentro da amostra - modelos vetores auto regressivos (VAR) e espaço de estados (EE) – Minas Gerais – 2002-2019



Fonte: Elaboração própria.

Nota: EE: espaço de estados. VAR: vetores auto regressivos.

No entanto, quando se comparam as previsões fora da amostra, os resultados se invertem. As previsões fora da amostra têm maior aplicação prática, pois se aproximam das restrições de informação observadas em tempo real. No caso do VAR, a previsão da taxa de crescimento dessazonalizada para 2019 foi de 0,3%; no caso do EE, utilizando a série com sazonalidade, a taxa de crescimento prevista foi de 0,4%. Ambas se aproximam bastante do valor observado em 2019, que foi de -0,3%, sobretudo quando se considera que em 2019 o rompimento da barragem de Brumadinho tenha subtraído cerca de 0,5% do PIB mineiro (DOMINGUES *et al*, 2020).

Destaca-se que as previsões de ambos os modelos para 2020 e 2021 são quase idênticas e apontam que a recuperação será lenta. Portanto, mesmo utilizando modelagens distintas e um conjunto diferente de variáveis explicativas, os resultados são muito próximos, indicando, em certa medida, sua robustez.

5 CONCLUSÃO

As previsões para o comportamento da economia são extremamente difíceis. Existe, inclusive, um aforismo que sintetiza bem essa questão: “Previsão é muito difícil, especialmente se for sobre o futuro”. Portanto, qualquer estimativa para o comportamento do PIB mineiro nos próximos trimestres carrega consigo um elevado nível de incerteza.

O contexto atual torna as previsões ainda mais complicadas. O mundo e o Brasil atravessam uma pandemia que tem sido mitigada por intermédio de medidas de isolamento social. O cenário macroeconômico global é marcado por disputas comerciais, aumento do endividamento dos governos e taxas de juros baixas. No *front* interno, existe ainda bastante turbulência política.

Dessa forma, as previsões para o PIB mineiro, realizadas neste estudo, são permeadas de incertezas. Os resultados sugerem que a recuperação da economia mineira será bastante lenta. Em certa medida, esses resultados, ainda que mais pessimistas do que a expectativa do mercado para a economia brasileira (BACEN, 2020a), estão em linha com projeções de organismos internacionais para a economia brasileira. Portanto, reforça-se o entendimento de que a recuperação será em formato de *V* da *Nike*.

REFERÊNCIAS

- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Focus**: relatório de mercado. Brasília, DF: Bacen, 10 de janeiro de 2020a. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/content/focus/focus/R20200110.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2020.
- BANCO CENTRO DO BRASIL. **Focus**: relatório de mercado. Brasília, DF: Bacen, 11 de setembro de 2020b. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/content/focus/focus/R20200110.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **COMEX STAT**: versão 2.0.3. Portal de estatísticas do comércio exterior do Brasil. Brasília, DF: MDIC, 2020. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 13 nov. 2020.
- CANZIAN, Fernando. Saída da crise em forma 'K' ampliará desigualdade. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 29 jun. 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/06/saida-da-crise-em-forma-k-ampliara-desigualdade.shtml>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- COMMANDEUR, Jacques J. F.; KOOPMAN, Siem Jan; OOMS, Marius. Statistical software for state space methods. **Journal of Statistical Software**, Innsbruck, Austria, v.41, n.1, p. 1-18, May 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v041.i01>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- DOMINGUES, Edson Paulo *et al.* Impactos econômicos da paralisação de parte da produção mineral em Minas Gerais decorrentes do desastre de barragem em Brumadinho. **Gestão e Sociedade**, Belo Horizonte, v.14, n.38, p. 3463-3479, maio/ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21171/ges.v14i2.3175>. Acesso em: 10 nov.2020.
- ENDERS, Walter. **Applied econometric time series**. Hoboken, New Jersey: J. Wiley, 2004.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **A economia de Minas Gerais no primeiro semestre de 2019**. Belo Horizonte: FJP, 2019. (Estatísticas & Informações, 19). Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCodDocumento=71002>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Bases de dados**: anexo estatístico – PIB trimestral – 2º trimestre de 2020. Belo Horizonte: FJP, 2020c. Disponível em: <http://novosite.fjp.mg.gov.br/produto-interno-bruto-pib-de-minas-gerais/>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Contas Regionais: PIB-MG | 2º trimestre de 2020. **Informativo FJP**, Belo Horizonte, v.2, n.3, 4 set. 2020a. Disponível em: http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/8.9_Informativo_IITrim2020.pdf. Acesso em: 10 nov. 2020.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Projeções PIB e MIP**: impactos da pandemia sobre a economia mineira. Belo Horizonte: FJP, 2020b. Disponível em: http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/7.8_Direi_ProjPIBeMIP_04082020.pdf. Acesso em: 10 nov. 2020.
- HAMILTON, James Douglas. **Time series analysis**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Brasil: IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pmc/brasil>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- ROUBICEK, Marcelo. Quais os formatos da curva de recuperação econômica. **Nexo Jornal**, São Paulo, 10 ago. 2020. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/expresso/2020/08/09/Quais-os-formatos-da-curva-de-recupera%C3%A7%C3%A3o-econ%C3%B4mica>. Acesso em: 10 nov. 2020.

Série Estatística & Informações

ISSN 2595-6132

Números divulgados

- Volume 1 – Economia do turismo de Minas Gerais: 2010-2014
- Volume 2 – Metodologia do PIB trimestral de Minas Gerais: referência 2010
- Volume 3 – Déficit habitacional no Brasil: resultados preliminares 2015
- Volume 4 – Produto Interno Bruto de Minas Gerais: 2015
- Volume 5 – Produto interno bruto dos municípios de Minas Gerais: 2015
- Volume 6 – Déficit habitacional no Brasil: 2015
- Volume 7 – Fluxos migratórios dos territórios de desenvolvimento de Minas Gerais e grandes regiões do Brasil: 2010
- Volume 8 – Projeções populacionais: Minas Gerais e territórios de desenvolvimento 2010-2060
- Volume 9 – Perfil dos jovens em áreas de vulnerabilidade social: educação e trabalho
- Volume 10 – Tabela de Recursos e Usos e Matriz Insumo-Produto de Minas Gerais: 2013
- Volume 11 – Matriz Insumo-Produto dos Territórios de Desenvolvimento de Minas Gerais: 2013
- Volume 12 – O PIB e os indicadores das finanças públicas de Minas Gerais: triênio 2015-2017
- Volume 13 – Diagnóstico da previdência pública dos servidores do Estado de Minas Gerais
- Volume 14 – A produção de café em Minas Gerais: desafios para a industrialização
- Volume 15 – Estrutura e evolução da ocupação formal de Minas Gerais: 2000-2017
- Volume 16 – Produto Interno Bruto de Minas Gerais: 2016
- Volume 17 – Produto Interno Bruto dos Municípios de Minas Gerais: 2016
- Volume 18 – Vulnerabilidade e condições de vida no Brasil e em Minas Gerais: o que revelam a Pesquisa por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) e o Cadastro Único – 2016 e 2017
- Volume 19 – A economia de Minas Gerais no primeiro semestre de 2019
- Volume 20 – Contas Regionais de Minas Gerais – Ano de Referência 2017
- Volume 21 – Delimitação e caracterização da cadeia produtiva da moda de Minas Gerais a partir da Matriz de Insumo Produto 2013

- Volume 22 – Metodologia para o cálculo do PIB do agronegócio de Minas Gerais: referência na Matriz de Insumo Produto 2013
- Volume 23 – Produto Interno Bruto dos Municípios de Minas Gerais: ano de Referência 2017
- Volume 24 – A economia de Minas Gerais no terceiro trimestre de 2019
- Volume 25 – Boletim quadrimestral das finanças públicas – 3º quadrimestre de 2019
- Volume 26 – Cadeia produtiva de calçados e couro em Minas Gerais: uma aplicação insumo-produto
- Volume 27 – A economia de Minas Gerais em 2019
- Volume 28 – Tabela de Recursos e Usos e Matriz insumo Produto de Minas Gerais – 2016
- Volume 29 – Matriz de insumo-produto das Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais – 2016
- Volume 30 – Boletim quadrimestral de finanças públicas: 1º quadrimestre de 2020
- Volume 31 – Estudo trimestral da economia de Minas Gerais: primeiro trimestre de 2020
- Volume 32 – Estrutura e Evolução do emprego em Minas Gerais pré pandemia da Covid - 19
- Volume 33 – Estudo trimestral da economia de Minas Gerais: segundo trimestre de 2020
- Volume 34 – Modelos econométricos de previsão de PIB-MG 2020 e 2021: um estudo conjunto da Direi/FJP e do Cedeplar/UFMG

