

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS E VALORAÇÃO DOS DANOS SOCIOECONÔMICOS  
CAUSADOS PARA AS COMUNIDADES ATINGIDAS PELO ROMPIMENTO DA  
BARRAGEM DE FUNDÃO**

## **NOTA TÉCNICA**

**Rompimento da Barragem de Fundão: Estimativas da Perda  
Acumulada do PIB para os Estados de Minas Gerais e Espírito  
Santo com Base nos Dados Observados até 2018**

**Outubro – 2021**

## EQUIPE TÉCNICA

André Portela Fernandes de Souza

Guillermo Roberto Tomás Málaga Butrón

Heron Marcos Teixeira Rios

Lucas Gerez Foratto

Reynaldo Fernandes

Ronan Cunha

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> — Estados escolhidos nos Controles Sintéticos.....	15
--	----

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> — PIB per capita dos estados de MG e ES e da Região Sintética.....	14
---	----

<b>Gráfico 2</b> — Perda do PIB Total anual estimada 2015-2018 (R\$ bilhões de 2020) ....	17
---	----

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> — Impacto na renda agregada de MG e ES (R\$ bilhões de 2020) .....	12
--	----

<b>Tabela 2</b> — Perdas no PIB Total (R\$ bilhões de 2020) .....	16
---	----

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO EXECUTIVO</b> .....	5
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 RESULTADOS DE 2015 A 2018</b> .....	10
2.1 Inclusão de taxas de desconto nas perdas acumuladas .....	15
<b>3 CONCLUSÃO</b> .....	18
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	19
<b>APÊNDICE A</b> .....	21

## SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente estudo estima as perdas econômicas totais do rompimento da Barragem de Fundão em Minas Gerais, ocorrido em 2015, sobre o Produto Interno Bruto (PIB) – ou renda agregada – dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente no período de 2015 a 2018.

O rompimento da Barragem de Fundão pode ter impactado a atividade econômica por meio de diferentes mecanismos como: (i) interrupção de atividades produtivas diretamente afetadas (e.g., parada da produção mineral, proibição da pesca estuarina e no Rio Doce por autoridades sanitárias); (ii) perda de produção devido à perda de ativos (e.g., perda da produção agropecuária devido à destruição da terra produtiva ao longo da bacia e perdas em outras atividades pela degradação de outros recursos naturais, como a pesca e a caça, entre outros); (iii) perda de produção ao longo da cadeia produtiva (e.g., redução de produção e fornecimento de insumos para as atividades produtivas diretamente afetadas); (iv) efeitos macroeconômicos gerais (e.g., efeitos sobre preços de produtos e insumos; queda no nível da atividade econômica devido à queda na demanda agregada por perda de renda dos consumidores e/ou receitas tributárias dos governos); (v) efeitos negativos permanentes no crescimento econômico (e.g., mudanças nas percepções de riscos que levam à redução de investimentos nas áreas afetadas); e (vi) aumento na produção e renda devido aos esforços de reparação e reconstrução que podem estimular as atividades econômicas.

Estudos anteriores apontam para uma perda na renda agregada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo entre 2015-2017, o ano do desastre e os dois primeiros anos subsequentes (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2020c). O presente documento atualiza as perdas no curto prazo, incluindo as informações do PIB de 2018 disponibilizado pelo IBGE. Para tanto, lança-se mão da metodologia de Controle Sintético<sup>1</sup>, análogo ao de estudos anteriores. Essa técnica econométrica permite estimar os valores do PIB de ambos os estados conjuntamente em sua trajetória contrafactual do PIB sob a hipótese de não ocorrência do rompimento e, com isso, estimar a diferença entre o PIB observado e o contrafactual, o que corresponde a variação da renda agregada.

---

<sup>1</sup> Proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie e colaboradores (2010), o método de Controle Sintético consiste em construir uma região hipotética (ou sintética), semelhante à unidade atingida, formada por uma média ponderada de regiões que não foram afetadas.

As estimativas de perda no PIB Total de MG e ES são feitas para a série diretamente observada (sem ajuste) e a série ajustada pela variação do preço do minério de ferro (com ajuste). Isto é feito pelo fato de que uma variação brusca negativa do preço do minério de ferro ocorreu simultaneamente ao período do desastre e que, potencialmente, pode confundir os impactos estimados atribuídos ao rompimento. Para cada uma das séries (ajustadas para o preço do minério com e não ajustada) estimou-se quatro modelos contrafactuais com diferentes variáveis covariadas para o cômputo dos pesos que comporão o PIB do estado sintético.

Ademais, pelo fato dessas perdas econômicas terem ocorridos entre 2015 e 2018, incluiu-se o cálculo com três taxas de desconto: 0% a.a., 3% a.a. e 5% a.a. O caso da taxa 0% corresponde aos valores nominais a preços de R\$ bilhões 2020. A taxa de juros de 3% a.a. (e 5% a.a.), por sua vez, segue uma taxa de juros de títulos do governo (*i.e.*, de acordo com o título NTN-B 2026 — ou Tesouro IPCA, na nova nomenclatura) e reflete o custo de oportunidade do poupador no longo prazo para a economia brasileira, ou seja, o custo em termos de rentabilidade de investimentos alternativos ao longo do tempo. Assim, perdas ocorridas em 2016, por exemplo, precisam ser corrigidas pela taxa de juros e inflação para obtenção do seu valor presente em 2020.

A tabela a seguir apresenta os valores das perdas acumuladas entre 2015 e 2018 do modelo Contrafactual 2, que possui o melhor ajuste com a série observada pré-rompimento<sup>2</sup>.

**Tabela 1 — Perdas no PIB Total (R\$ bilhões de 2020)**

Variação no PIB	2015-2018		
	Taxa de desconto: 0%	Taxa de desconto: 3%	Taxa de desconto: 5%
PIB Total (MG+ES)	-225	-249	-267

Fonte: Elaboração própria (2021).

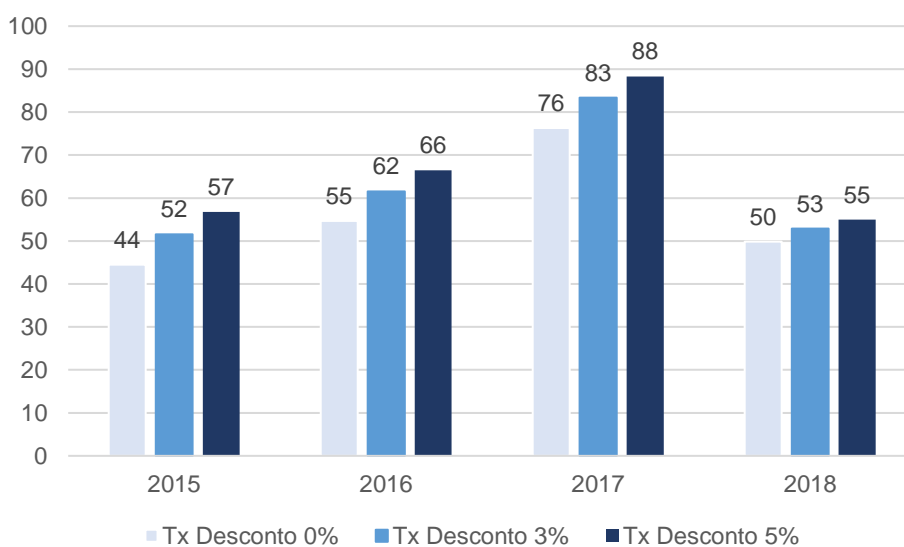
Observação: Resultados calculados a partir do Contrafactual 2 com ajuste.

Na comparação entre esses resultados entre 2015 e 2018, a perda estimada do PIB Total de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, figura entre R\$ 225 bilhões (taxa de 0%) a R\$ 267 bilhões (taxa de 5%) em valores de bilhões de Reais de 2020. Uma análise ano a ano pode ser verificado no Gráfico 1 a seguir. Observa-se que, ao levar

<sup>2</sup> O critério de decisão do melhor ajuste é feito a partir do cálculo da Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE, da sigla em inglês) no período pré desastre (2002-2014), que está presente na tabela 1.

em consideração a taxa de juros de 3%, relativamente ao cenário de taxa de desconto de 0%, e tendo 2020 como ano base, as perdas nos períodos com dados observados são maiores. Embora seja uma consequência direta do desconto, essa diferença levanta a importante questão de que as perdas nos períodos iniciais são economicamente maiores que o simples cômputo das perdas contábeis quando se leva em consideração os custos de alocação de recursos ao longo do tempo.

**Gráfico 1 — Perda do PIB Total anual estimada 2015-2018 (R\$ bilhões de 2020)**



Fonte: Elaboração própria (2021).

## 1 INTRODUÇÃO

O presente estudo estima as perdas econômicas totais do rompimento da Barragem de Fundão em Minas Gerais, ocorrido em 2015, sobre o Produto Interno Bruto (PIB) – ou renda agregada – dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, a partir dos dados observados da economia mineira e capixaba.

O rompimento da Barragem de Fundão pode ter impactado a atividade econômica por meio de diferentes mecanismos como: (i) interrupção de atividades produtivas diretamente afetadas (e.g., parada da produção mineral, proibição da pesca estuarina e no rio Doce por autoridades sanitárias); (ii) perda de produção devido à perda de ativos (e.g., perda da produção agropecuária devido à destruição da terra produtiva ao longo da bacia e perdas em outras atividades pela degradação de outros recursos naturais, como a pesca e a caça, entre outros); (iii) perda de produção ao longo da cadeia produtiva (e.g., redução de produção e fornecimento de insumos para as atividades produtivas diretamente afetadas); (iv) efeitos macroeconômicos gerais (e.g., efeitos sobre preços de produtos e insumos; queda no nível da atividade econômica devido à queda na demanda agregada por perda de renda dos consumidores e/ou receitas tributárias dos governos); (v) efeitos negativos permanentes no crescimento econômico (e.g., mudanças nas percepções de riscos que levam à redução de investimentos nas áreas afetadas); e (vi) aumento na produção e renda devido aos esforços de reparação e reconstrução que podem estimular as atividades econômicas.

Estudos anteriores apontam para uma perda na renda agregada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo entre 2015-2017, o ano do desastre e os dois primeiros anos subsequentes (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2020c). O presente documento atualiza as perdas no curto prazo, incluindo as informações do PIB de 2018 disponibilizado pelo IBGE.

Nesta Nota estimam-se as perdas do PIB com base nos dados de 2015 a 2018, que são insumo importante na elaboração da segunda parte deste estudo que contempla projeções de cenários alternativos de perdas futuras até os anos de 2031 e 2034. A metodologia utilizada é conhecida como Controle Sintético<sup>3</sup>. A Seção 2 apresenta as diversas estimativas do Controle Sintético para os valores de perda do PIB de ambos os estados, conjuntamente, a partir da comparação com a trajetória contrafactual do PIB

---

<sup>3</sup> Proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie e colaboradores (2010), o método de Controle Sintético consiste em construir uma região hipotética (ou sintética), semelhante à unidade atingida, formada por uma média ponderada de regiões que não foram afetadas.



sob a hipótese de não ocorrência do rompimento. Finalmente, a Seção 3, fornece uma conclusão.

## 2 RESULTADOS DE 2015 A 2018

Este trabalho tem como objetivo apresentar estimativas do impacto do rompimento da Barragem de Fundão em Minas Gerais, ocorrido em 2015, sobre o Produto Interno Bruto (PIB) dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Em trabalhos anteriores, estimou-se a perda da renda agregada entre 2015 e 2017 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b). O presente estudo utiliza as novas informações disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) acrescentando o ano de 2018 na análise de impacto.

Uma das principais informações para se estimar o modelo de impacto total do rompimento da Barragem de Fundão é a disponibilidade do dado de PIB municipal calculado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A partir da metodologia de controle sintético empregada em estudos anteriores de avaliação de impacto na renda agregada em decorrência do rompimento da Barragem de Fundão (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b), recuperamos as estimativas “contrafactuais” do PIB para o período 2015-2017, isto é, os valores do PIB na ausência do desastre. Estes valores são insumos importantes para o modelo de impacto total sob diferentes horizontes temporais. Recentemente, o IBGE disponibilizou os valores de 2018, assim como atualizou informações do Sistema de Contas Nacionais para os anos anteriores. O Apêndice A apresenta uma síntese dessas atualizações.

A metodologia empregada nesta subseção é a mesma apresentada nos estudos anteriores sobre Controle Sintético (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b). Proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie e colaboradores (2010), o método de Controle Sintético consiste em construir uma região hipotética (ou sintética), semelhante à unidade atingida, formada por uma média ponderada de regiões que não foram afetadas. Este procedimento tem como objetivo estimar os pesos dessa média utilizando as informações do período anterior ao rompimento (2002-2014). O impacto na renda agregada será, portanto, a diferença entre o PIB da região atingida e o PIB da respectiva região hipotética no período pós-rompimento, entre 2015 e 2018.

Nos estudos anteriores, apresentam-se os resultados do impacto no PIB de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, em cinco abordagens diferentes. Tendo em vista que o critério de escolha para as trajetórias contrafactuais estimadas foi pautado pelos resultados com os menores RMSE (sigla em inglês: Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio) pré-rompimento, e que tais resultados não se alteraram com as

atualizações do PIB, concentraremos a análise nas duas estratégias de contrafactuais mais apropriadas segundo este critério. Segue a descrição das variáveis utilizadas para a construção dos pesos em cada uma delas:

- Contrafactual 2: Passado do PIB *per capita* de 2002 a 2014.
- Contrafactual 3: Média das covariadas de 2002 a 2014 e PIB *per capita* de 2002 a 2004 e de 2011 a 2014. Sendo as covariadas:
  - A média da proporção de terras utilizadas para agricultura, pecuária e área urbana fornecidas pela MapBiomass;
  - A média do estoque de capital humano;
  - A média da densidade populacional do IBGE;
  - A média da participação do setor de agricultura, da indústria, do setor extrativo e dos serviços no PIB;

A numeração (Contrafactual 2 e 3) foi mantida dos estudos anteriores para fins de comparabilidade, com a ressalva de que os resultados reportados neste presente estudo estão a preços de 2020, enquanto os anteriores estão a preços de 2016.

Seguindo a mesma estratégia dos estudos antecessores (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b), os pesos do Controle Sintético foram estimados a partir das séries de PIB *per capita* em cada uma das abordagens, por questões de diferenças de dimensionalidade entre as unidades federativas. A Tabela 1, a seguir, é construída a partir da multiplicação dos impactos no PIB *per capita* pelas respectivas populações dos estados de MG e ES, conjuntamente, em cada ano de análise. Utiliza-se a população do ano corrente, ou seja, supõe-se que a população dos estados não foi afetada pelo rompimento. Dado o tamanho físico e populacional desses estados, é razoável esperar que o rompimento não tenha efeitos significativos sobre migração para fora dos mesmos nos anos justamente subsequentes.

Além disso, para cada contrafactual há uma estimação com e sem ajuste para variações dos preços do minério de ferro. O objetivo deste ajuste é tentar mitigar os efeitos (potencialmente positivos ou negativos) das variações do preço do minério sobre as estimativas de impacto no PIB.

A Tabela 1, a seguir, apresenta os resultados para ambos os contrafactuais do Controle Sintético utilizando as séries de PIB de MG e ES, conjuntamente, com e sem ajuste pelo preço do minério de ferro.

**Tabela 1 — Impacto na renda agregada de MG e ES (R\$ bilhões de 2020)**

Ano	Estatística	Contrafactual 2		Contrafactual 3	
		sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste
2015	R\$ bilhões	-41,90	-44,49	-41,87	-44,59
	% do PIB	-4,87	-5,13	-4,87	-5,14
	P-valor	0,15	0,19	0,19	0,15
2016	R\$ bilhões	-47,51	-54,67	-47,47	-54,69
	% do PIB	-5,78	-6,57	-5,78	-6,57
	P-valor	0,27	0,23	0,27	0,27
2017	R\$ bilhões	-71,79	-76,29	-71,75	-76,27
	% do PIB	-8,35	-8,81	-8,35	-8,81
	P-valor	0,15	0,19	0,15	0,19
2018	R\$ bilhões	-45,40	-49,84	-45,37	-49,77
	% do PIB	-5,24	-5,70	-5,23	-5,70
	P-valor	0,38	0,46	0,42	0,42
Acumulado	R\$ bilhões	-206,59	-225,29	-206,46	-225,32
	% do PIB	-6,05	-6,54	-6,05	-6,55
	P-valor	0,23	0,31	0,31	0,31
RSME	Pré	0,63	0,67	0,63	0,67
	Pós	1,79	1,94	1,79	1,94
Composição do estado sintético — pesos (%)					
UF	Contrafactual 2		Contrafactual 3		
	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	
Pará	28,8		28,8		
Pernambuco		24,2		24,5	
Rio de Janeiro	7,1	4,9	7,1	4,9	
Rondônia	23,4	29,4	23,4	28,9	
Santa Catarina	40,7	41,5	40,6	41,6	

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Observação: O P-valor é construído a partir dos 25 placebos, em cada simulação define-se um estado como atingido e calcula-se o impacto. O P-valor, portanto, é o ranque entre todas as simulações. RSME pré e pós se referem ao ajuste da região sintética com relação à observada.

Do ponto de vista do RMSE pré-rompimento, nota-se que os valores são muito próximos (iguais até a segunda casa decimal) entre os contrafactuais, comparando tanto os contrafactuais 2 e 3 sem ajuste quanto os mesmos ajustados. Uma interpretação para esse resultado é de que, no período pré-rompimento, ambas as regiões sintéticas construídas a partir dos seus respectivos contrafactuais (2 e 3) estão muito próximas ao PIB *per capita* observado de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente.

Desse modo, no Contrafactual 2, estima-se um impacto de magnitude acumulada entre os anos de 2015 e 2018 de R\$ -206,59 bilhões para o PIB observado e de R\$ -225,29 bilhões para o PIB ajustado. Ainda sob a análise do Contrafactual 2 sem e com ajuste, respectivamente, para cada ano, o tamanho do impacto é estimado no intervalo de R\$ -41,9 bilhões a R\$ -44,49 bilhões em 2015, R\$ -47,51 bilhões a R\$ -54,67 bilhões em 2016, R\$ -71,79 bilhões a R\$ -76,29 bilhões em 2017, e R\$ -45,4 bilhões a R\$ -49,84 bilhões em 2018. Os intervalos são gerados por meio das estimativas utilizando os

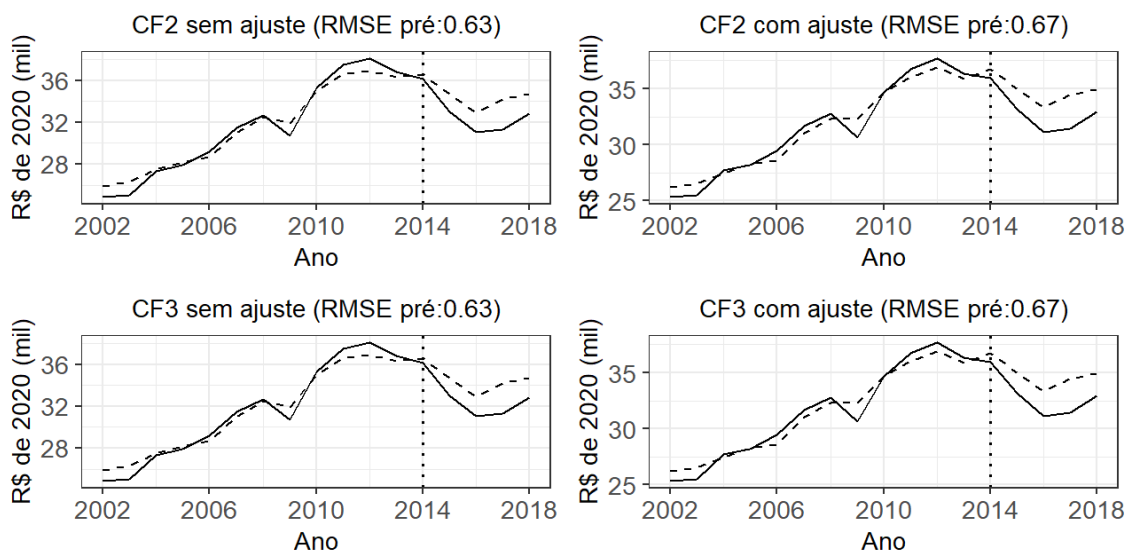
valores do PIB observados e ajustados. Esses valores representam, em média, uma redução de 6,05% a 6,54% no PIB.

Em relação a esse resultado é importante mencionar o formato de U-invertido das perdas de PIB Total com o impacto máximo sendo alcançado em 2017. Como veremos mais à frente, o aumento da magnitude do impacto neste ano é devido a uma maior recuperação da região sintética relativamente à região diretamente afetada pelo rompimento. Assim, os resultados sugerem que o desastre possa ter prejudicado a recuperação do PIB de MG e ES à recessão do período em relação à região sintética. Ademais, o resultado para o Contrafactual 3 é muito semelhante, como pode ser visto na Tabela 1. O Apêndice B contém os resultados do PIB *per capita* e dos demais contrafactuais apresentados nos estudos anteriores.

Aplicam-se dois testes de hipóteses comuns nessa literatura. O primeiro é feito por meio da permutação, ou seja, supõe-se que cada estado foi atingido pelo rompimento e constrói-se um estado sintético para ele e se calcula o impacto, chamando-os de placebos. Feito isso, observa-se em qual posição ordenada está o impacto de Minas Gerais e Espírito Santo. Assim, é possível calcular o p-valor apresentado na Tabela 1. Esse exercício, entretanto, deve ser analisado com cautela, pois só há 25 placebos; assim, junto com Minas Gerais e Espírito Santo, há 26 unidades para compor a análise. Dessa forma, se o impacto desse estado estiver no extremo da distribuição, o p-valor será igual a 0,04, no mínimo. Uma análise complementar à do p-valor consiste em verificar a distribuição dos impactos dos placebos e da unidade Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente. Essa análise pode ser encontrada no Apêndice B deste documento.

Para ilustrar a comparação entre o PIB observado e a região sintética em cada uma das estratégias, o Gráfico 1 apresenta a trajetória temporal do PIB *per capita* dos estados de MG e ES observado e a trajetória dos estados de MG e ES sintético para os Contrafactuais 2 e 3. Como se pode observar, em todos os casos, após 2014 (ano imediatamente pré-rompimento), os valores contrafactuais do PIB *per capita* são superiores aos valores observados do PIB *per capita* conjunto de Minas Gerais e Espírito Santo, indicando perda de renda agregada em todos os anos, o que já havia sido apresentado na Tabela 1. Além disso, em todos os contrafactuais apresentados é possível notar a recuperação da região sintética em 2017 relativamente à região impactada como descrito anteriormente, o que resulta na maior perda anual de PIB da região atingida.

**Gráfico 1 — PIB per capita dos estados de MG e ES e da Região Sintética**



Legenda: — Realizado --- Região Sintética

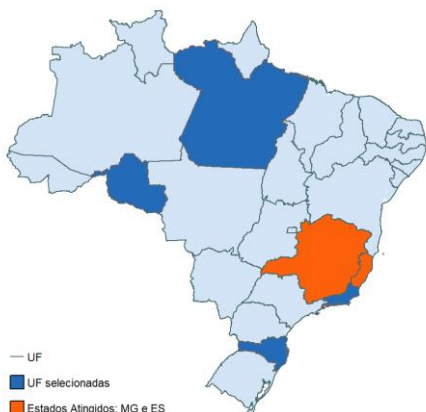
Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

O painel inferior da Tabela 1 mostra a composição da região sintética em cada um dos contrafactuais, assim como foi realizado nos estudos relacionados (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b). No Contrafactual 2 (sem ajuste), a região sintética é uma média ponderada dos valores do PIB do Pará (28,8%), Rio de Janeiro (7,1%), Rondônia (23,4%) e Santa Catarina (40,7%). Enquanto no Contrafactual 2 (com ajuste), a região sintética é uma média ponderada dos valores do PIB de Pernambuco (24,2%), Rio de Janeiro (4,9%), Rondônia (29,4%) e Santa Catarina (41,5%).

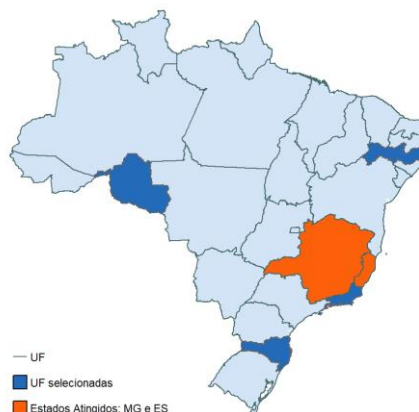
A fim de explorar as escolhas das unidades federativas (pelo Controle Sintético) que compõem a região sintética em cada um dos contrafactuais, a Figura 1 apresenta geograficamente as unidades federativas selecionadas para a composição do PIB *per capita* sintético de MG e ES em cada uma das composições contrafactuais apresentadas. Nota-se que a escolha dos estados difere com a utilização do PIB *per capita* ajustado ou sem ajuste. Em particular, o estado do Pará deixa de compor a região sintética no contrafactual com ajuste pela variação no preço do minério de ferro. Este resultado não apresenta surpresa uma vez que este estado também possui uma relevante atividade extrativa mineral. Entretanto, os Contrafactuais 2 e 3 selecionam os mesmos estados, em cada um desses casos.

**Figura 1 — Estados escolhidos nos Controles Sintéticos**

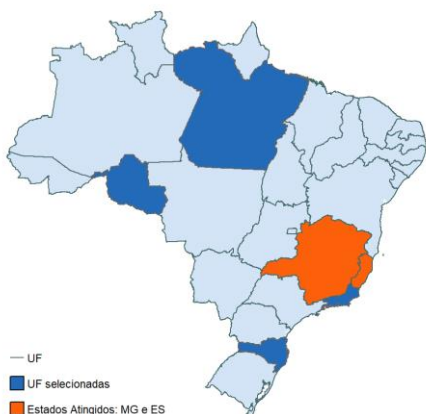
(a) Contrafactual 2 — PIB *per capita* sem ajuste



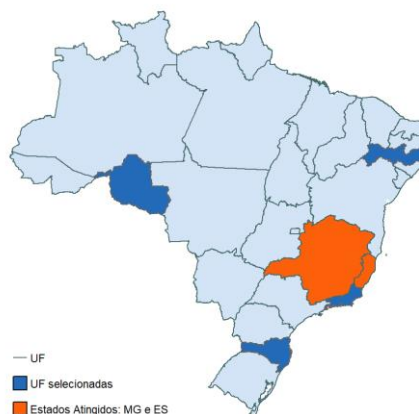
(b) Contrafactual 2 — PIB *per capita* com ajuste



(c) Contrafactual 3 — PIB *per capita* sem ajuste



(d) Contrafactual 3 — PIB *per capita* com ajuste



Fonte: Elaboração própria (2020), a partir de dados do IBGE.

## 2.1 Inclusão de taxas de desconto nas perdas acumuladas

O fato das perdas econômicas estimadas terem ocorridos entre 2015 e 2018 (e a publicação desses resultados se dá em 2021), incluiu-se o cálculo com três taxas de desconto: 0% a.a., 3% a.a. e 5% a.a. O caso da taxa 0% corresponde aos valores nominais a preços de R\$ bilhões 2020. A taxa de juros de 3% a.a., por sua vez, segue uma taxa de juros de títulos do governo (*i.e.*, de acordo com o título NTN-B 2026 — ou Tesouro IPCA, na nova nomenclatura) e reflete o custo de oportunidade do poupador no longo prazo para a economia brasileira, ou seja, o custo em termos de rentabilidade de investimentos alternativos ao longo do tempo. Assim, perdas ocorridas em 2016, por exemplo, precisam ser corrigidas pela taxa de juros e inflação para obtenção do seu valor presente em 2020.

A tabela a seguir apresenta os valores das perdas acumuladas entre 2015 e 2018 do modelo Contrafactual 2, que possui o melhor ajuste com a série observada pré-rompimento<sup>4</sup>.

**Tabela 2 — Perdas no PIB Total (R\$ bilhões de 2020)**

Variação no PIB	2015-2018		
	Taxa de desconto: 0%	Taxa de desconto: 3%	Taxa de desconto: 5%
PIB Total (MG+ES)	-225	-249	-267

Fonte: Elaboração própria (2021).

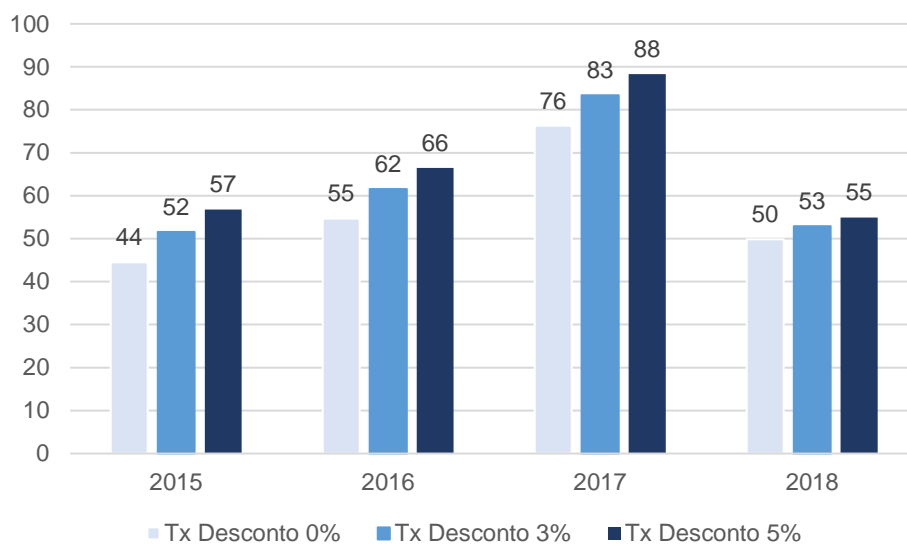
Observação: Resultados calculados a partir do Contrafactual 2 com ajuste.

Na comparação entre esses resultados para o período 2015 e 2018, a perda estimada do PIB Total de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, figura entre R\$ 225 bilhões (taxa de 0%) a R\$ 267 bilhões (taxa de 5%) em valores de bilhões de Reais de 2020. Uma análise ano a ano pode ser verificado no gráfico a seguir. Observa-se que, ao levar em consideração a taxa de juros de 3%, relativamente ao cenário de taxa de desconto de 0%, e tendo 2020 como ano base, as perdas nos períodos com dados observados são maiores. Embora seja uma consequência direta do desconto, essa diferença levanta a importante questão de que as perdas nos períodos iniciais são economicamente maiores que o simples cômputo das perdas contábeis quando se leva em consideração os custos de alocação de recursos ao longo do tempo.

<sup>4</sup> O critério de decisão do melhor ajuste é feito a partir do cálculo da Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE, da sigla em inglês) no período pré desastre (2002-2014), que está presente na tabela 1.



**Gráfico 2 — Perda do PIB Total anual estimada 2015-2018 (R\$ bilhões de 2020)**



Fonte: Elaboração própria (2021).

### 3 CONCLUSÃO

O presente estudo estima as perdas do PIB para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, com base nos anos de 2015 a 2018. Para tanto, lança-se mão da metodologia de técnica econométrica de Controle Sintético proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie et al. (2010). Essa metodologia permite estimar os valores do PIB de ambos os estados conjuntamente, mineiro e capixaba, a partir da comparação com a trajetória contrafactual do PIB sob a hipótese de não ocorrência do rompimento. A partir dessa estimativa, calcula-se a perda anual da renda agregada na região através da subtração do PIB contrafactual no PIB observado nos dados do IBGE.

As estimativas de perda no PIB Total de MG e ES são feitas para duas séries do PIB, a série diretamente observada nos dados (sem ajuste) e a série ajustada pela variação do preço do minério de ferro (com ajuste). Isto é feito pelo fato de que a variação do preço do minério de ferro ocorrer simultaneamente ao período do desastre e potencialmente confundir os impactos estimados atribuídos ao rompimento. Os resultados para as duas séries são apresentados em cinco estimações de trajetórias contrafactuais, sob diferentes estratégias de especificação nas covariadas utilizadas na obtenção dos pesos do Controle Sintético. Sob o critério de escolha dos menores RMSE (Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio), foca-se nos resultados dos contrafactuais 2 e 3 (com e sem ajuste). Neles, estima-se uma perda acumulada entre 2015-2018 entre R\$ 206 bilhões e R\$ 225 bilhões a preços de bilhões de 2020. A partir do resultado da composição do Contrafactual 2 da série ajustada pelos choques de preço no minério de ferro, incluiu-se o cômputo das perdas acrescidas sob a perspectiva de três taxas de desconto: 0%, 3% e 5%. Desta forma, os resultados entre 2015 e 2018 figuram-se entre R\$ 225 bilhões (taxa de 0%) a R\$ 267 bilhões (taxa de 5%) em valores de bilhões de Reais de 2020.

## REFERÊNCIAS

ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. **Journal of American statistical Association**, p. 493-505, 2010.

ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country. **American Economic Review**, p. 113-132, 2003.

ALBALA-BERTRAND, J. M. Natural disaster situations and growth: A macroeconomic model for sudden disaster impacts. **World Development**, p. 1417-1434, 1993.

C. BENSON, E. C. Understanding the economic and financial impacts of natural disasters. **The World Bank**, 2004.

DUPONT IV, W. A. I. N. What happened to Kobe? A reassessment of the impact of the 1995 earthquake in Japan. **Economic Development and Cultural Change**, p. 777-812, 2015.

E. CAVALLO, S. G. I. N. J. P. Catastrophic natural disasters and economic growth. **Review of Economics and Statistics**, p. 1549-1561, 2013.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Impacto do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada de Minas Gerais e Espírito Santo**. Rio de Janeiro; São Paulo. 2019. Disponível em: <[http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv\\_impacto-do-rompimento-da-barragem-de-fundao-sobre-a-renda-agregada-de-minas-gerais-e-espirito-santo.pdf](http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impacto-do-rompimento-da-barragem-de-fundao-sobre-a-renda-agregada-de-minas-gerais-e-espirito-santo.pdf)>.

\_\_\_\_\_. **Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada de Minas Gerais e Espírito Santo: Análise de Determinantes e Canais a partir do Modelo de Equilíbrio Geral**. Rio de Janeiro; São Paulo. 2020c. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/renda-agregada-mg-e-es-modelo-de-equilibrio-geral.pdf>>.

\_\_\_\_\_. **Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada nos Estados e Sub-Regiões de Minas Gerais e Espírito Santo**. Rio de Janeiro; São Paulo. 2020b. Disponível em: <[http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv\\_impacto-do-rompimento-da-barragem-de-fundao-sobre-a-renda-agregada-nos-estados-e-sub-regioes-de-minas-gerais-e-espirito-santo.pdf](http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impacto-do-rompimento-da-barragem-de-fundao-sobre-a-renda-agregada-nos-estados-e-sub-regioes-de-minas-gerais-e-espirito-santo.pdf)>.

\_\_\_\_\_. **Reparação Individual nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó: Uma Análise do Desenho, Procedimentos e da Cobertura do Cadastro, do Programa de Indenização Mediada e do Auxílio Financeiro Emergencial da Fundação Renova**. Rio de Janeiro; São Paulo. 2020a. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/rosa-fortini-cadastro-afe-pim.pdf>>.

G. BARONE, S. M. Natural disasters, growth and institutions: a tale of two earthquakes. **Journal of Urban Economics**, p. 52-66, 2014.

HOCHRAINER, S. Assessing the macroeconomic impacts of natural disasters: are there any?. **The World Bank**, 2009.

LAAJAJ, R.; CHHIBBER, A. Natural disaster and economic development impact, response and. **Global Development Network**, 2007.

LJUNGQVIST, L.; SARGENT, T. J. **Recursive Macroeconomic**. Nova York: [s.n.], 2012.

MCGALL, J. J. Economics of Information and Job Search. **The Quarterly Journal of Economics**, p. 113-126, 1970.

S. HALLEGATTE, M. G. Natural disasters impacting a macroeconomic model with endogenous dynamics. **Ecological Economics**, p. 582-592, 2008.

## APÊNDICE A — Atualizações do PIB pelo IBGE

Este apêndice tem como intuito apresentar as atualizações dos valores do PIB de 2017, em comparação com os valores disponibilizados pelo IBGE anteriormente, assim como caracterizar as mudanças na composição setorial proposta pelo mesmo instituto. A Tabela 1 a seguir mostra as mudanças nos valores do PIB corrente entre os estudos da FGV entregues no EDT3 e no presente EDT4.

Como se pode observar, para o ano de 2017, o PIB de Minas Gerais que estava em R\$ 487.954 milhões no EDT3 foi reajustado pelo IBGE para R\$ 487.189 milhões. Essas mudanças ocorreram nos demais estados também. Os resultados presentes nesta Nota Técnica se basearam nas informações atualizadas do PIB.

Ademais, a Tabela 2 mostra a mudança na composição dos subgrupos do PIB sob a ótica da produção. Em linhas gerais, o subgrupo 10.2 representado pela Agropecuária nas bases antigas agora está subdividido em três subgrupos:

- Agricultura, inclusive apoio à agricultura pós-colheita;
- Pecuária, inclusive apoio à pecuária;
- Produção florestal, pesca e aquicultura.

No caso do subgrupo “Outras atividades de serviços”, o IBGE subdividiu em dois subgrupos:

- Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços;
- Serviços domésticos.

**Tabela 1 — Alterações no PIB a valores correntes em 2017**

Ano	UF	Setor	Valor EDT3 (milhões de reais de 2017)	Valor EDT4 (milhões de reais de 2017)	Variação (milhões de reais de 2017)
2017	Minas Gerais	Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade	87.056	86.889	-167
2017	Minas Gerais	Agropecuária	27.748	27.695	-53
2017	Minas Gerais	Alojamento e alimentação	11.292	11.273	-20
2017	Minas Gerais	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	22.882	22.838	-44
2017	Minas Gerais	Atividades imobiliárias	49.624	49.530	-94
2017	Minas Gerais	Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativo	35.477	35.418	-59
2017	Minas Gerais	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	60.862	60.773	-89
2017	Minas Gerais	Construção	22.262	22.227	-35
2017	Minas Gerais	Educação e saúde privadas	19.422	19.390	-32
2017	Minas Gerais	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	13.341	13.325	-16
2017	Minas Gerais	Imposto	68.907	68.775	-132
2017	Minas Gerais	Indústrias de transformação	67.645	67.568	-77
2017	Minas Gerais	Indústrias extrativas	20.820	20.795	-24
2017	Minas Gerais	Informação e comunicação	11.899	11.885	-14
2017	Minas Gerais	Outras atividades de serviços	16.538	16.507	-31
2017	Minas Gerais	Total das Atividades	487.954	487.189	-765
2017	Minas Gerais	Transporte, armazenagem e correio	21.085	21.075	-10

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 2 — Mudanças nos subgrupos do PIB a partir de 2010**

Conta de produção por atividade econômica	
Setores de produção EDT3	Setores de produção EDT4
Tabela 10.1 Total das Atividades	Tabela 10.1 Total das Atividades
Tabela 10.2 Agropecuária	Tabela 10.2 Agricultura, inclusive apoio à agricultura e a pós-colheita
	Tabela 10.3 Pecuária, inclusive apoio à pecuária
	Tabela 10.4 Produção florestal, pesca e aquicultura
Tabela 10.3 Indústrias extrativas	Tabela 10.5 Indústrias extrativas
Tabela 10.4 Indústrias de Transformação	Tabela 10.6 Indústrias de transformação
Tabela 10.5 Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	Tabela 10.7 Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação
Tabela 10.6 Construção	Tabela 10.8 Construção
Tabela 10.7 Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	Tabela 10.9 Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas
Tabela 10.8 Transporte, armazenagem e correio	Tabela 10.10 Transporte, armazenagem e correio
Tabela 10.9 Alojamento e alimentação	Tabela 10.11 Alojamento e alimentação
Tabela 10.10 Informação e comunicação	Tabela 10.12 Informação e comunicação
Tabela 10.11 Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	Tabela 10.13 Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados
Tabela 10.12 Atividades Imobiliárias	Tabela 10.14 Atividades imobiliárias
Tabela 10.13 Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	Tabela 10.15 Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares
Tabela 10.14 Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	Tabela 10.16 Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social
Tabela 10.15 Educação e saúde privadas	Tabela 10.17 Educação e saúde privadas
Tabela 10.16 Outras atividades de serviços	Tabela 10.18 Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços
	Tabela 10.19 Serviços domésticos

Fonte: Elaboração própria (2021).

## APÊNDICE B — Demais resultados do controle sintético

O presente apêndice contém as principais informações dos resultados do controle sintético incluindo o ano de 2018, assim como as atualizações do IBGE apresentadas no apêndice anterior.

A Tabela 1 apresenta os resultados de todas as especificações de contrafactuais dos estudos anteriores (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b), incorporando o ano de 2018 e agora com os resultados a preços de 2020, calculados a partir do deflator do PIB no período. A Tabela 2, por sua vez, indica os resultados estimados para o PIB *per capita* de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente.

O Gráfico 1, por sua vez, apresenta as dinâmicas dos PIBs *per capita* de todas as unidades federativas, com enfoque para as selecionadas e a de Minas Gerais e Espírito Santo. Em todos os casos utilizaram-se quatro estados para formar o Estado Sintético, a diferença está em qual estado foi selecionado. A diferença é sutil e se localiza na última linha azul de cada gráfico. Elas representam os estados de Pará para a análise com o PIB *per capita* sem o ajuste e Pernambuco para o PIB *per capita* ajustado pelo preço do minério de ferro.

Uma análise complementar à do p-valor pode ser vista nos painéis (a) e (b) do Gráfico 2 e do Gráfico 3 que mostram a distribuição dos impactos dos placebos e do estado de Minas Gerais e Espírito Santo, linha vermelha, para o PIB sem e com ajuste respectivamente, do Contrafactual 2.

**Tabela 1 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES (R\$ Bilhões de 2020)**

Ano	Estatística	Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste
2015	R\$ bilhões	-41,90	-44,49	-41,87	-44,59	-29,99	-40,62	-38,99	-52,19
	% do PIB	-4,87	-5,13	-4,87	-5,14	-3,53	-4,71	-4,55	-5,97
	P-valor	0,15	0,19	0,19	0,15	0,38	0,23	0,19	0,12
2016	R\$ bilhões	-47,51	-54,67	-47,47	-54,69	-51,51	-55,43	-66,48	-70,30
	% do PIB	-5,78	-6,57	-5,78	-6,57	-6,24	-6,65	-7,91	-8,29
	P-valor	0,27	0,23	0,27	0,27	0,31	0,38	0,15	0,15
2017	R\$ bilhões	-71,79	-76,29	-71,75	-76,27	-63,92	-56,20	-76,81	-72,91
	% do PIB	-8,35	-8,81	-8,35	-8,81	-7,51	-6,64	-8,88	-8,45
	P-valor	0,15	0,19	0,15	0,19	0,23	0,31	0,12	0,19
2018	R\$ bilhões	-45,40	-49,84	-45,37	-49,77	-13,27	10,18	-35,55	-12,70
	% do PIB	-5,24	-5,70	-5,23	-5,70	-1,59	1,25	-4,15	-1,52
	P-valor	0,38	0,46	0,42	0,42	0,77	0,85	0,54	0,77



Ano	Estatística	Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste
Acumulado	R\$ bilhões	-206,59	-225,29	-206,46	-225,32	-158,69	-142,06	-217,83	-208,09
	% do PIB	-6,05	-6,54	-6,05	-6,55	-4,72	-4,23	-6,36	-6,08
	P-valor	0,23	0,31	0,31	0,31	0,58	0,58	0,42	0,54
RSME	Pré	0,63	0,67	0,63	0,67	0,97	1,22	0,93	1,28
	Pós	1,79	1,94	1,79	1,94	1,49	1,51	1,93	1,94
Composição do Estado sintético — Pesos (%)									
UF	Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5		
	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	
Goiás						65,5		45,2	
Mato Grosso do Sul							16,8	0,2	
Pará	28,8		28,8		57,4	18,9	52,6	25,6	
Paraná					10,5			13,5	
Pernambuco		24,2		24,5					
Rio de Janeiro	7,1	4,9	7,1	4,9					
Rondônia	23,4	29,4	23,4	28,9					
Santa Catarina	40,7	41,5	40,6	41,6					
São Paulo					32,2	15,5	30,6	15,5	

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

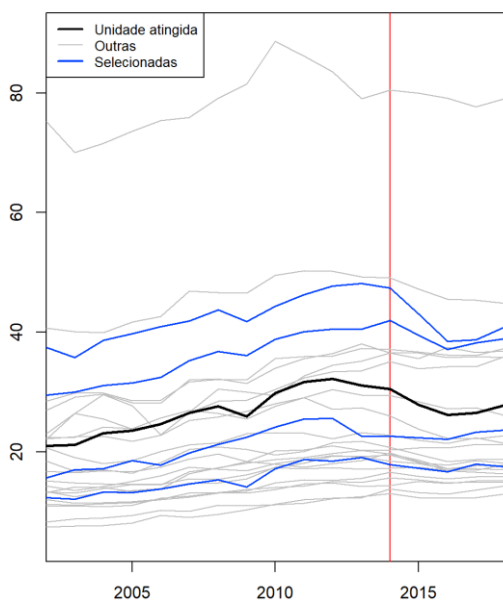
**Tabela 2 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita de MG e ES (R\$ milhares de 2020)**

Ano	Estatística	Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste
2015	R\$ mil	-1,69	-1,79	-1,69	-1,80	-1,21	-1,64	-1,57	-2,10
	% do PIB	-4,87	-5,13	-4,87	-5,14	-3,53	-4,71	-4,55	-5,97
	P-valor	0,15	0,19	0,19	0,15	0,38	0,23	0,19	0,12
2016	R\$ mil	-1,90	-2,19	-1,90	-2,19	-2,06	-2,22	-2,66	-2,82
	% do PIB	-5,78	-6,57	-5,78	-6,57	-6,24	-6,65	-7,91	-8,29
	P-valor	0,27	0,23	0,27	0,27	0,31	0,38	0,15	0,15
2017	R\$ mil	-2,86	-3,04	-2,85	-3,03	-2,54	-2,24	-3,06	-2,90
	% do PIB	-8,35	-8,81	-8,35	-8,81	-7,51	-6,64	-8,88	-8,45
	P-valor	0,15	0,19	0,15	0,19	0,23	0,31	0,12	0,19
2018	R\$ mil	-1,82	-1,99	-1,81	-1,99	-0,53	0,41	-1,42	-0,51
	% do PIB	-5,24	-5,70	-5,23	-5,70	-1,59	1,25	-4,15	-1,52
	P-valor	0,38	0,46	0,42	0,42	0,77	0,85	0,54	0,77
Acumulado	R\$ mil	-8,26	-9,01	-8,26	-9,01	-6,35	-5,69	-8,71	-8,33
	% do PIB	-6,05	-6,54	-6,05	-6,55	-4,72	-4,23	-6,36	-6,08
	P-valor	0,23	0,31	0,31	0,31	0,58	0,58	0,42	0,54
RSME	Pré-rompimento	0,63	0,67	0,63	0,67	0,97	1,22	0,93	1,28
	Pós-rompimento	1,79	1,94	1,79	1,94	1,49	1,51	1,93	1,94

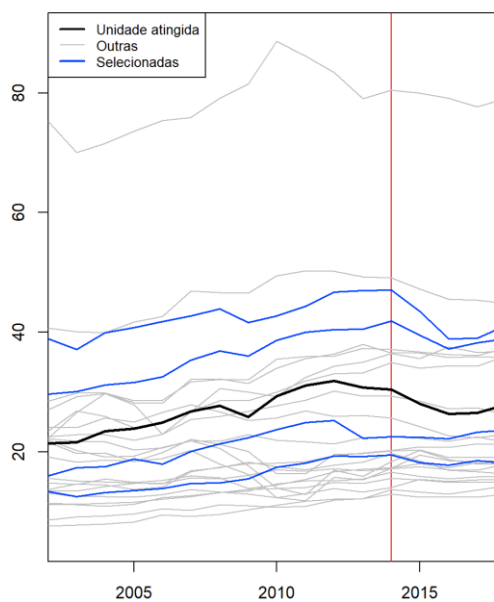
Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

**Gráfico 1 — PIB *per capita* dos estados selecionados nos controles sintéticos**

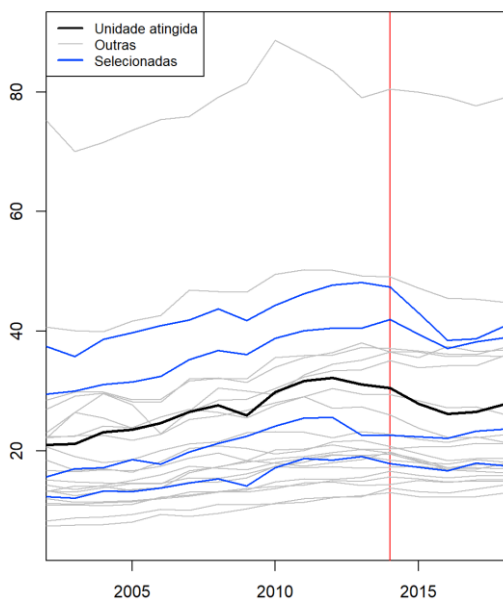
(a) Contrafactual 2 — PIB *per capita* sem ajuste



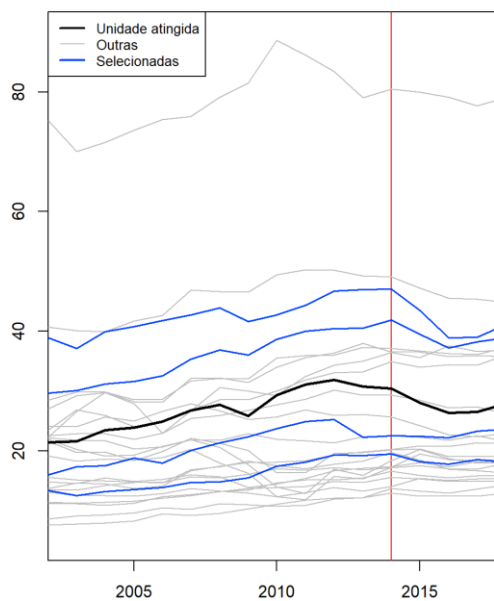
(b) Contrafactual 2 — PIB *per capita* com ajuste



(c) Contrafactual 3 — PIB *per capita* sem ajuste



(d) Contrafactual 3 — PIB *per capita* com ajuste

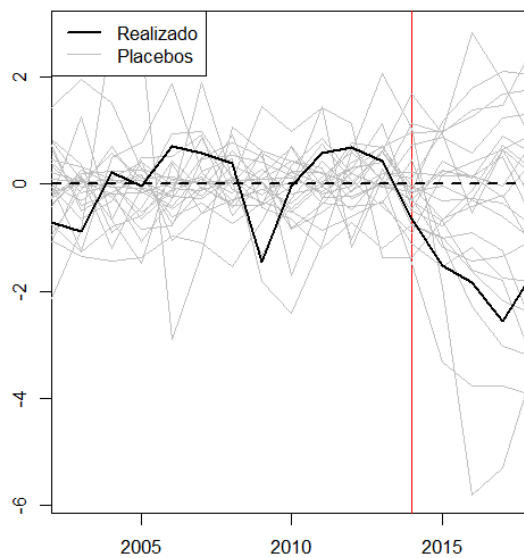
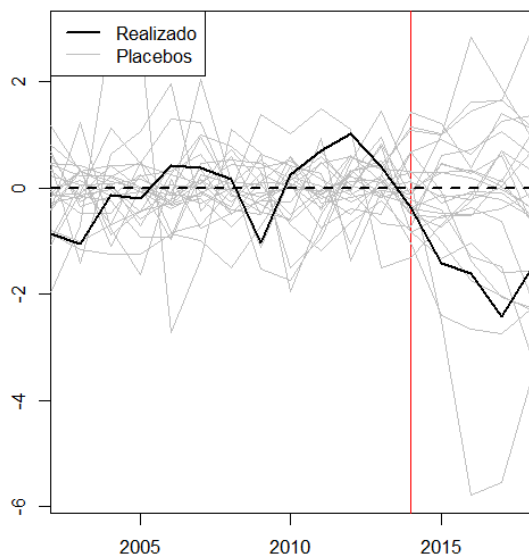


Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

**Gráfico 2 — MG e ES: placebos**

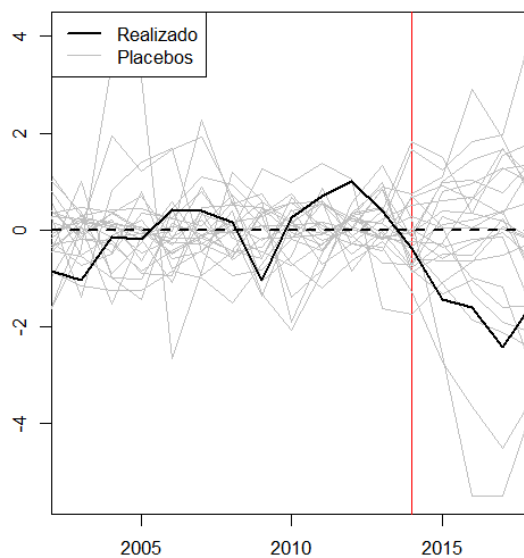
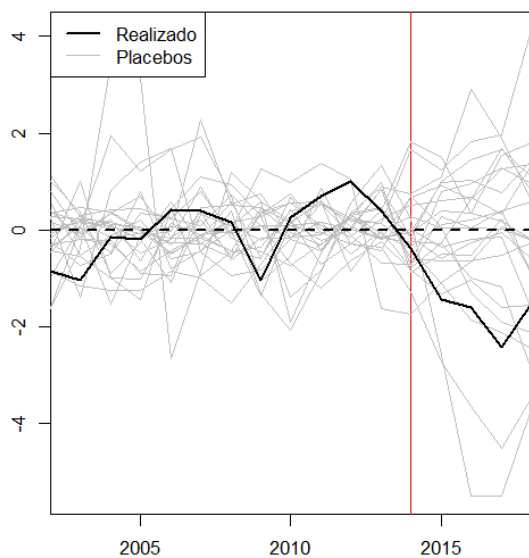
(a) Contrafactual 2 — PIB *per capita* sem ajuste

(b) Contrafactual 2 — PIB *per capita* com ajuste



(c) Contrafactual 3 — PIB *per capita* sem ajuste

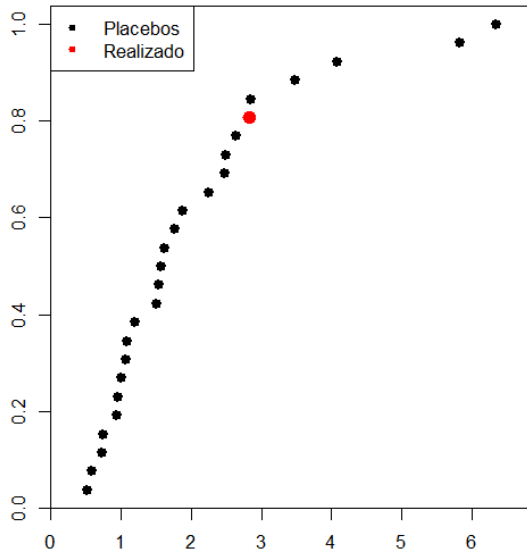
(c) Contrafactual 3 — PIB *per capita* sem ajuste



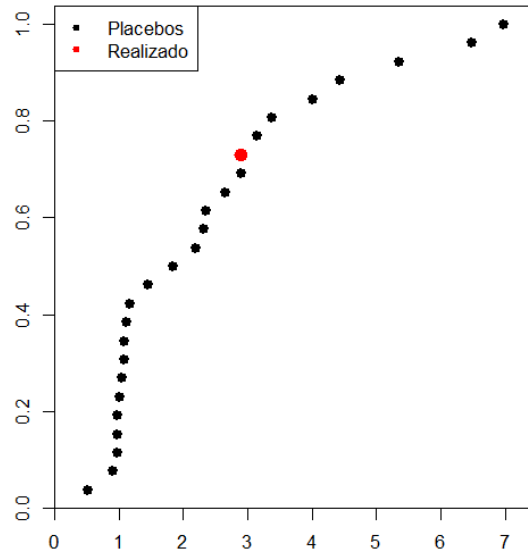
Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

**Gráfico 3 — Distribuição acumulada da razão pré/pós RMSE**

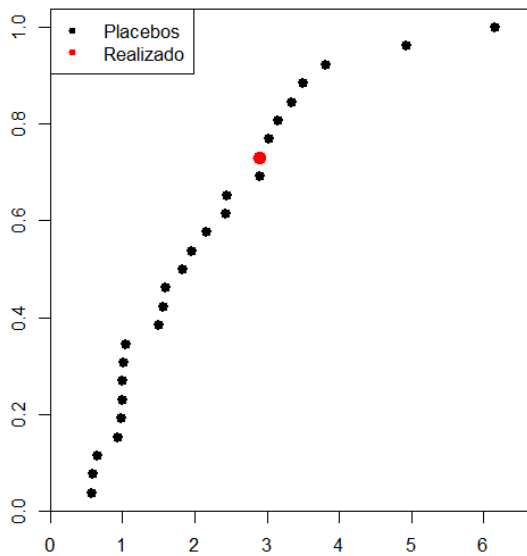
(a) Contrafactual 2 — PIB *per capita* sem ajuste



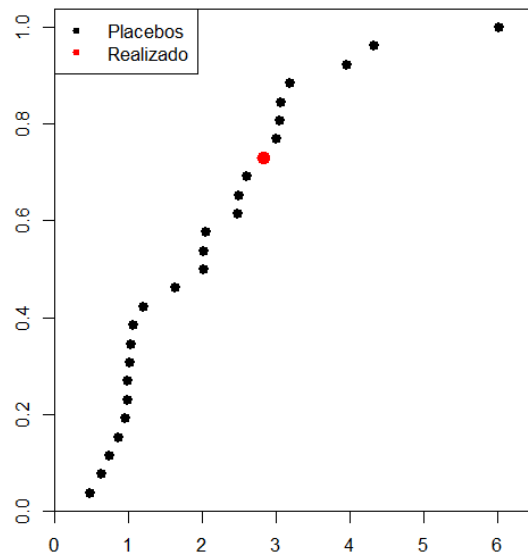
(b) Contrafactual 2 — PIB *per capita* ajustado



(c) Contrafactual 3 — PIB *per capita* sem ajuste



(d) Contrafactual 3 — PIB *per capita* com ajuste



Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.