

**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: Simulações de Cenários
Futuros para a Perda Acumulada do PIB para os Estados de
Minas Gerais e Espírito Santo**

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

Figura 1 — Cenários para o impacto de desastres no longo prazo	21
Figura 2 — Estrutura do modelo de longo prazo	23
Figura 3 — Elaboração dos cenários	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — Trajetórias de recuperação dos fatores de produção, condições do mercado de trabalho e produtividades	28
Gráfico 2 — Trajetórias de recuperação (2015-2034) — PIB com ajuste: Samarco Aberta.....	30
Gráfico 3 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2034) — PIB com ajuste: Samarco Aberta.....	31
Gráfico 4 — Perda do PIB Total anual no Cenário de Referência (R\$ bilhões de 2020)	38
Gráfico 5 — Perda acumulada do PIB — cenários (R\$ bilhões de 2020).....	40
Gráfico 6 — Perda do PIB Total anual no Cenário de Referência (R\$ bilhões de 2020)	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Dinâmica das variáveis exógenas utilizadas no modelo — cenário contrafactual	26
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Cenários das perdas acumulada em Retomada s do PIB total e setorial (R\$ bilhões de 2020)	37
Tabela 2 — Cenários das perdas acumuladas do PIB total e setorial no período 2019-2028 — Samarco em Retomada (R\$ bilhões de 2020)	44

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	5
1 INTRODUÇÃO	14
2 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	18
2.1 Construção de cenários segundo a literatura.....	18
2.2 Resultados de 2015 a 2018 com dados observados utilizados na calibração do modelo	21
2.3 Perda acumulada do PIB — cenários	22
2.4 Estimativas das perdas acumuladas do PIB sob plena recuperação de operação da Samarco em 2028	41
3 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE A.....	51
APÊNDICE B.....	58

SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente estudo simula 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.

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.

Para capturar os diversos mecanismos utiliza-se o modelo desenvolvido em (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2020c) buscando-se aproximar o comportamento observado do PIB e simular potenciais cenários de recuperação. O modelo é calibrado de forma a replicar as perdas do PIB de MG e ES estimadas com base nos dados observados para os anos de 2015 a 2018 (primeira parte deste estudo) e projeta cenários alternativos de recuperação do desastre para todo o período até os anos de 2031 e 2034 e cenários alternativos de plena operação da empresa Samarco até 2028, como previsto pela empresa. Para tanto, lança-se mão de uma metodologia de calibração de modelo de equilíbrio geral¹ utilizando os impactos estimados através da técnica econométrica de Controle Sintético² na primeira parte deste estudo. Esta última permite estimar os valores de impacto no PIB de ambos os estados, conjuntamente, a partir da comparação com a trajetória contrafactual do PIB estimada sob a hipótese de

¹ O modelo de equilíbrio geral foi desenvolvido por Fundação Getulio Vargas (2020c).

² 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.

não ocorrência do rompimento. A partir dessa estimativa, calibra-se o modelo de equilíbrio geral de modo a replicar as perdas estimadas pelo Controle Sintético e, em sequência, simular os impactos totais em diferentes cenários e horizontes de tempo.

Essas estimativas de impacto dependem de uma série de características da economia local, do momento econômico, planos de recuperação e reconstrução que moldam as perspectivas do futuro das regiões. Desta maneira, o modelo permite gerar uma variedade de cenários alternativos (e suas respectivas implicações de perdas no produto) onde se consideram a operação contínua ou interrupção temporária da mineradora Samarco, a possibilidade de diferentes especificações de trajetórias de recuperação futura e diferentes taxas de desconto aplicadas aos valores de perda (de modo a tornar comparável o valor presente das diversas estimativas).

Para a obtenção do conjunto de estimativas das perdas via modelo de equilíbrio geral, calcula-se a diferença de valores do PIB de MG e ES, conjuntamente, entre o cenário sem a ocorrência do rompimento e seu valor sob diferentes hipóteses alternativas de recuperação à sua situação inicial. Desse modo, define-se como “Recuperação econômica do desastre” as trajetórias de aproximação de um conjunto de variáveis que refletem os fundamentos da economia e, no modelo, definem o choque decorrente do rompimento, ao seu valor inicial (*i.e.*, sem a ocorrência do rompimento). Assim, a definição do desastre no modelo do presente estudo está associada à trajetória de recuperação de três conjuntos de variáveis (exógenas no modelo): oferta dos fatores de produção, parâmetros de condições do mercado de trabalho e produtividades setoriais.

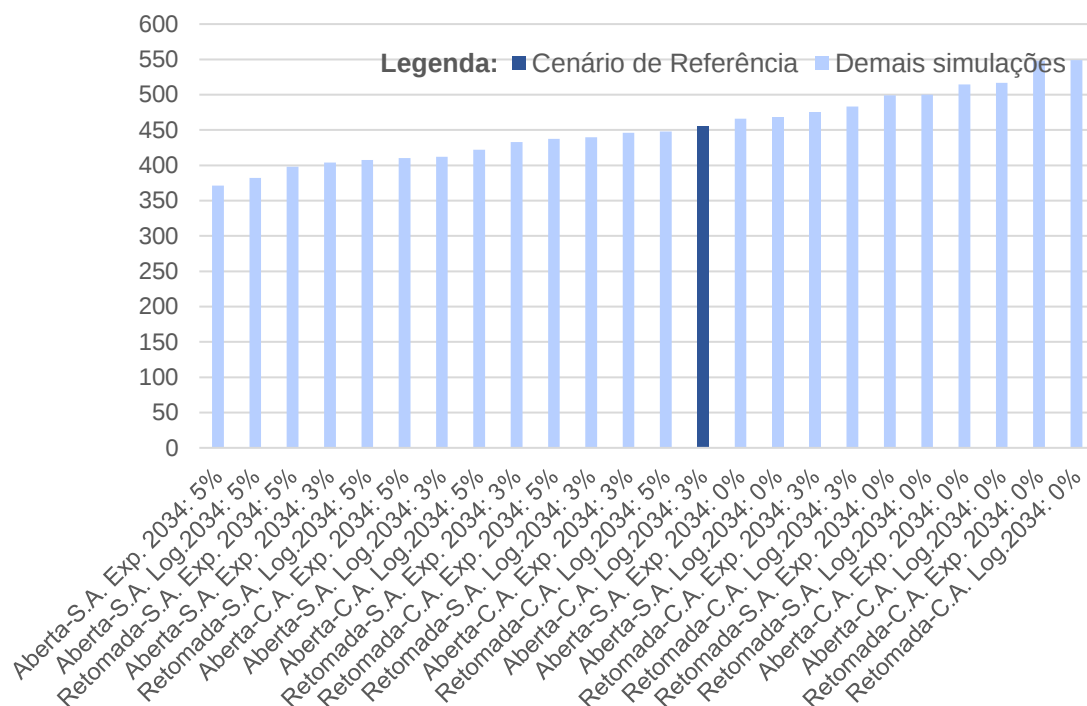
As estimativas de perda no PIB Total de MG e ES são feitas para duas séries do PIB: a série diretamente observada nos dados (sem ajuste) e a série ajustada pela variação do preço do minério de ferro (com ajuste). Isto é feito pelo fato de a variação do preço do minério de ferro ocorrer simultaneamente ao período do desastre e potencialmente confundir os impactos estimados atribuídos ao rompimento. Além disso, o primeiro conjunto de resultados para as duas séries é apresentado sob cenários alternativos que consideram as diferentes combinações das seguintes possibilidades:

- a) A empresa Samarco em operação (Aberta) ou temporariamente inoperante (em Retomada);
- b) As trajetórias futuras dos parâmetros exógenos do modelo para o cenário de recuperação em formato logístico ou exponencial, de modo a captar diferentes ritmos de recuperação;
- c) Os dois horizontes temporais de recuperação até 2031 ou 2034;
- d) Três possíveis taxas de desconto (0%, 3% e 5% a.a.).

Gráfico 1 — Perda acumulada do PIB — Cenários (R\$ bilhões de 2020)



(b) 2019-2034



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

Observação: Em sequência está o Glossário com as nomenclaturas utilizadas

Termo	Glossário
Retomada	Empresa Samarco em Retomada
Aberta	Empresa Samarco Aberta
S.A.	PIB sem ajuste
C.A.	PIB com ajuste
Exp.	Trajetoária exponencial
Log.	Trajetoária logística
2031	Período de análise de 2015 a 2031
2034	Período de análise de 2015 a 2034
0%,3%,5%	Taxas de desconto (a.a.)

Dentre os diversos cenários, considera-se o “Cenário de Referência” no primeiro conjunto de resultados, aquele que combina a empresa Samarco em operação (Samarco Aberta), com o PIB ajustado para variações do preço do minério de ferro, com as trajetórias de recuperação das variáveis em formato logístico e a taxa de desconto de 3%. Essa especificação tem a qualidade de combinar condições que nos permitem focar nos efeitos do rompimento sobre o PIB, potencialmente mitigando o efeito de outros fatores atuantes concomitantemente.

Nessa linha, o caso Samarco Aberta permite reduzir o impacto gerado pela decisão judicial de paralização da atividade da empresa que, embora tenha efeito sobre o PIB, pode alterar o impacto do rompimento em si. Por sua vez, o ajuste do PIB pelo preço do

minério de ferro busca filtrar as variações do mesmo decorrentes de oscilações de preços da *commodity* que se seguiram ao rompimento. Um aumento de preço, por exemplo, poderia reduzir o impacto total devido à simples valorização do minério de ferro no mercado internacional. Em seguida, a trajetória de recuperação em formato logístico permite uma trajetória suave de transição de modo que nos períodos iniciais e finais as variações dos parâmetros que definem o choque do rompimento no modelo se alteram de forma lenta, porém contínua. O intuito é captar os custos iniciais e finais de reparação que requerem estimativas, análises e planejamento nos períodos iniciais e a dificuldade crescente de identificação dos efeitos remanescente após certo período de reparação.

Na sequência, este primeiro conjunto de resultados propõe cenários para a valoração da perda total da renda agregada para dois horizontes temporais: ii) de 2019 a 2031, o que corresponde a 15 anos após 2016 (incluindo o período 2015 a 2018 estimado na primeira parte desta Nota Técnica), conforme estipulado no TTAC³; e iii) de 2019 a 2034, o que incluiria um acréscimo de três anos, haja visto o atraso dos projetos de reparação, repactuação e fomento da economia da Fundação Renova.

Por fim, a taxa de desconto de 3% (*i.e.*, de acordo com o título NTN-B 2026 — ou Tesouro IPCA, na nova nomenclatura) 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 em 2020. De forma análoga, perdas associadas a períodos futuros devem ser descontadas para obter seu valor atual.

Com base no Cenário de Referência, a Tabela 1 a seguir apresenta os resultados das perdas estimadas para o PIB de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, para os dois períodos de tempo supracitados.

³ Termo de Transação e Ajustamento de Conduta assinado entre representantes dos governos federal, estadual e autarquias e as empresas Samarco Mineração S.A., Vale S.A. e BHP Billinton Brasil Ltda., em março de 2016.

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

Variação no PIB	Taxa de desconto: 3%	
	2019-2031	2019-2034
PIB Total (MG+ES)	-389	-455

Fonte: Elaboração própria (2021).

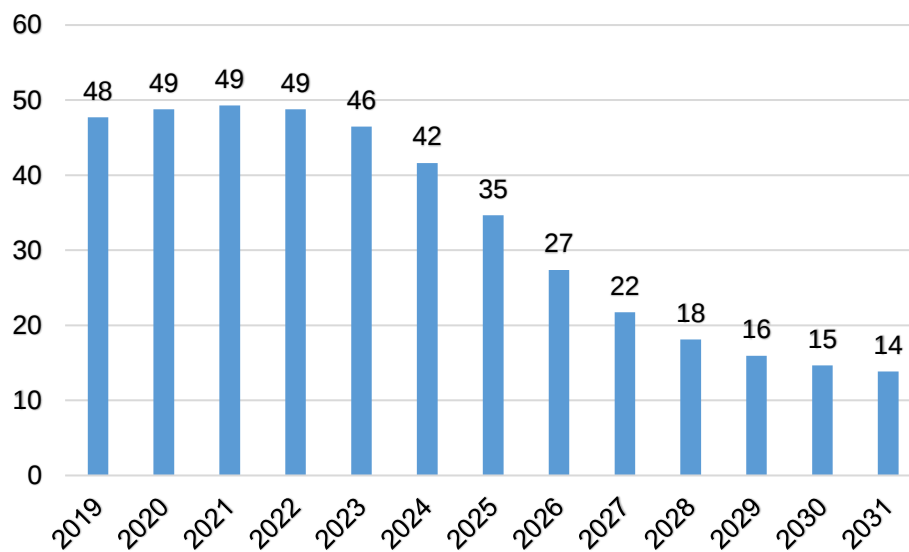
Nota: Cenários simulados considerando a Samarco aberta, PIB ajustado pelo preço do minério de ferro e trajetórias de recuperação logística.

Na comparação entre esses cenários, a perda estimada do PIB Total de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, figura entre R\$ 389 bilhões (2019-2031) e R\$ 455 bilhões (2019-2034) em valores de Reais de 2020. Ressalte-se que esses são valores intermediários entre os 48 cenários alternativos.

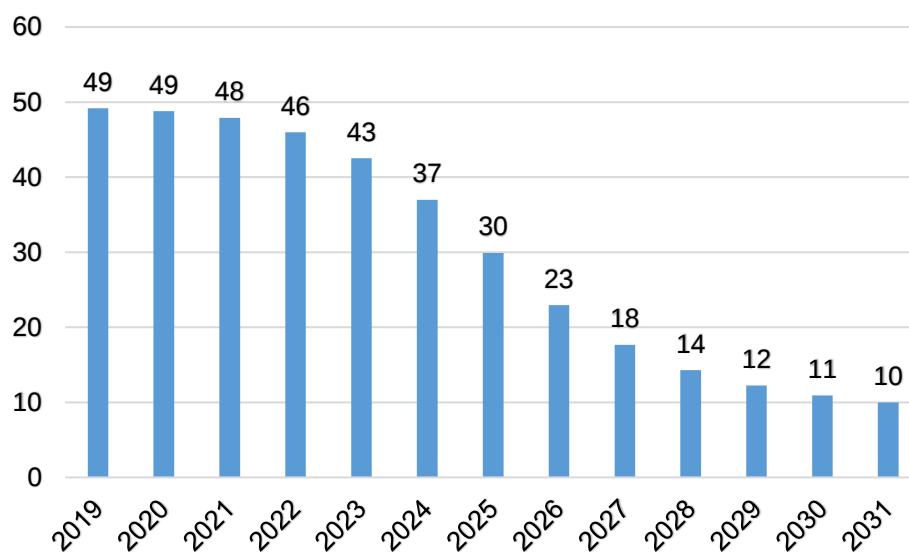
O Gráfico 2 a seguir apresenta os resultados das simulações do modelo no Cenário de Referência. O gráfico mostra as perdas anuais do PIB Total entre 2019 e 2031, figuras (a) e (b), e entre 2019 e 2034, figuras (c) e (d). É possível observar que, ao levar em consideração a taxa de desconto de 3%, o valor presente das perdas em 2019 aumenta enquanto o seu valor presente nos períodos mais longos diminui em magnitude, relativamente ao cenário de taxa de desconto de 0% – tendo 2020 como ano base. Embora seja uma consequência direta do desconto, essa diferença evidencia a importante questão de que as perdas nos períodos iniciais (finais) são economicamente maiores (menores) que o simples cômputo das perdas contábeis quando se leva em consideração os custos de alocação de recursos ao longo do tempo.

Gráfico 2 — Perda do PIB Total anual no Cenário de Referência (R\$ bilhões de 2020)

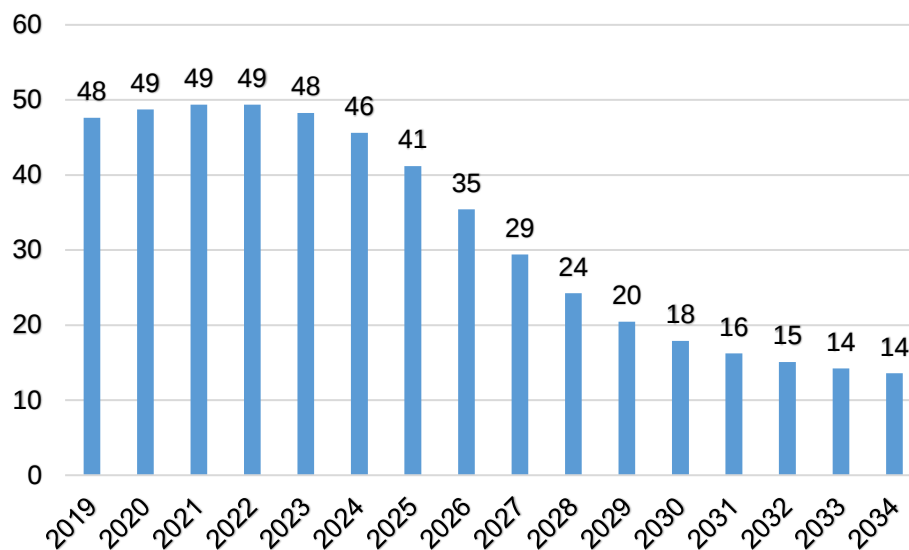
(a) 2019-2031 (Desconto 0%)



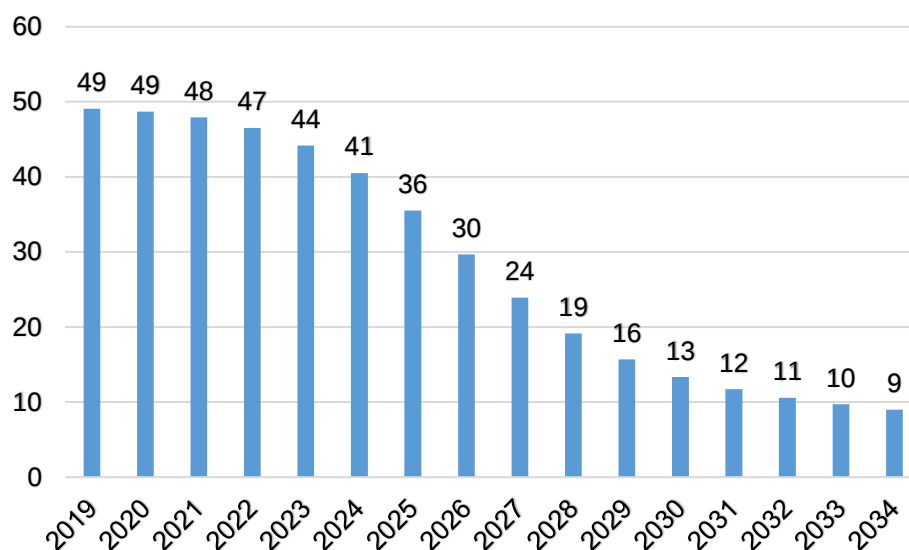
(b) 2019-2031 (Desconto 3%)



(c) 2019-2034 (Desconto 0%)



(d) 2019-2034 (Desconto 3%)



Fonte: Elaboração própria (2021).

A última parte deste estudo projeta cenários alternativos de perdas futuras até o ano de 2028. A escolha do ano de 2028 se deve ao horizonte de planejamento de plena reativação das atividades da Samarco em Mariana-MG até 2028. Para este exercício, foram simulados 12 cenários alternativos. Em todos esses cenários considera-se a empresa Samarco temporariamente inoperante de 2015 a 2018 e com trajetória de retomada a partir de 2019 até sua plena operação em 2028. Entre os diversos cenários, define-se o “Cenário de Referência” nesta última parte do estudo, aquele que combina

a empresa Samarco temporariamente inoperante (Samarco em Retomada), com o PIB ajustado para variações do preço do minério de ferro, com as trajetórias de recuperação das variáveis em formato logístico e a taxa de desconto de 3%.

Com base no Cenário de Referência acima, a Tabela 2 seguinte apresenta os resultados das perdas estimadas para o PIB de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, para o horizonte até 2028 e o horizonte até 2031, à título de comparação. Os valores são reportados em bilhões de reais de 2020.

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

Variação no PIB	Taxa de desconto: 3%	
	2019-2028	2019-2031
PIB Total (MG + ES)	-298	-414

Fonte: Elaboração própria (2021) e (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021).

Nota: Cenários simulados considerando a Samarco em Retomada, PIB ajustado pelo preço do minério de ferro e trajetórias de recuperação logística.

Na comparação entre esses cenários, a perda estimada do PIB Total de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, figura entre R\$ 298 bilhões (2019-2028) e R\$ 414 bilhões (2019-2031) em reais de 2020. Cabe ressaltar que o cenário 2019-2031 nesse contexto apresenta uma perda no PIB superior àquela indicada na Tabela 1 (R\$ 414 bilhões ante os R\$ 389 bilhões), devido ao fato da empresa mineradora se encontrar em processo retomada gradual até 2028 vis-à-vis a simulação com a empresa em plena produção no caso anterior. Além disso, novamente, esses são valores intermediários entre os 12 cenários alternativos.

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo simula 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.

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.

Para capturar os diversos mecanismos utiliza-se o modelo desenvolvido em (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2020c) que combina um modelo padrão de crescimento com dois setores com um modelo de fricção no mercado de trabalho. O modelo distingue o setor extrativo dos demais setores da economia permitindo uma análise dos choques específicos a esse setor decorrentes do rompimento da barragem (redução da oferta de terra ou diminuição do estoque de capital das empresas afetadas). Adicionalmente, o modelo permite capturar alterações no mercado de trabalho como as probabilidades de encontrar emprego ou de ser desligado entre os setores que se seguiu ao desastre, possibilitando considerar os efeitos sobre emprego. A inclusão desses parâmetros, por sua vez, contribui para uma melhor mensuração dos parâmetros setoriais de produtividade, que são peças chave na calibração do modelo.

Os parâmetros – de produtividade e taxas de encontro e separação do mercado de trabalho – são então calibrados de modo a reproduzir a trajetória pregressa do PIB conjunto dos estados MG e ES entre 2003 e 2018⁴, levando em conta o choque sobre

⁴ Para uma descrição mais profundo do modelo e processo de calibração o leitor é referido à Nota Técnica anterior (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2020c).

os fatores de produção (oferta de terra e estoque de capital do setor extrativo) que no modelo definem a interrupção de produção da empresa Samarco. Essa abordagem permite mensurar a importância do fechamento da Samarco relativamente ao impacto total do desastre.

Adicionalmente, o impacto do rompimento sobre estes parâmetros que refletem os fundamentos da economia é calibrado de modo a replicar as perdas do PIB de MG e ES estimadas com base nos dados observados para os anos de 2015 a 2018 através da metodologia econométrica de Controle Sintético, implementada na primeira parte deste estudo.

A partir do modelo calibrado, é possível replicar o impacto total sobre o PIB conjunto no período logo após o rompimento (2015 a 2018) e projetar impactos futuro sob diferentes cenários alternativos e horizontes de tempo. Nesse sentido, o modelo permite gerar uma variedade de cenários alternativos (e suas respectivas implicações de perdas no produto) onde se consideram a operação contínua (Samarco Aberta) ou interrupção temporária (Samarco em Retomada) da mineradora Samarco, o PIB com e sem ajuste pelo preço do minério de ferro, a possibilidade de diferentes especificações de trajetórias de recuperação futura dos parâmetros que definem o desastre no modelo (em formato logístico ou exponencial) e diferentes taxas de desconto aplicadas aos valores de perda de modo a tornar comparável o valor presente das diversas estimativas (0%, 3% e 5% a.a.).

Para a obtenção do conjunto de estimativas das perdas futuras via modelo de equilíbrio geral, calcula-se a diferença de valores do PIB de MG e ES, conjuntamente, entre o cenário sem a ocorrência do rompimento – fixado no seu nível de 2018 obtido pelo Controle Sintético – e seu valor sob diferentes hipóteses alternativas de recuperação dos parâmetros à sua situação inicial. Desse modo, define-se como “Recuperação econômica do desastre” as trajetórias de aproximação de um conjunto de variáveis que refletem os fundamentos da economia e, no modelo, definem o choque decorrente do rompimento ao seu valor inicial (*i.e.*, sem a ocorrência do rompimento). Assim, a definição do desastre no modelo do presente estudo está associada à trajetória de recuperação de três conjuntos de variáveis (exógenas no modelo): oferta dos fatores de produção, parâmetros de condições do mercado de trabalho e produtividades setoriais.

Esta parte do estudo propõe cenários para a valoração da perda total da renda agregada em dois conjuntos de resultados distintos. No primeiro conjunto de resultados concentra-se nos cenários sob dois horizontes temporais: i) de 2019 a 2031, o que corresponde a

15 anos após 2016, conforme estipulado no TTAC⁵; e ii) de 2019 a 2034, o que incluiria um acréscimo de três anos, haja vista o atraso dos projetos de reparação, repactuação e fomento da economia da Fundação Renova.

Dentre os diversos cenários, considera-se o “Cenário de Referência” no primeiro conjunto de resultados, aquele que combina a Samarco Aberta (isto é, elimina o choque na oferta de fatores no setor extrativo), com o PIB ajustado pelo preço do minério de ferro, com as trajetórias de recuperação das variáveis em formato logístico e a taxa de desconto de 3%. Essa especificação tem a qualidade de combinar condições que nos permitem focar nos efeitos do rompimento sobre o PIB, potencialmente mitigando o efeito de outros fatores atuantes concomitantemente.

Nessa linha, o caso Samarco Aberta permite reduzir o impacto gerado pela decisão judicial de paralização da atividade da empresa que, embora tenha efeito sobre o PIB, pode alterar o impacto do rompimento em si. Por sua vez, o ajuste do PIB pelo preço do minério de ferro busca filtrar as variações do mesmo decorrentes de oscilações de preços da *commodity* que se seguirem ao rompimento. Um aumento de preço, por exemplo, poderia reduzir o impacto total devido à simples valorização do minério de ferro no mercado internacional. Em seguida, a trajetória de recuperação em formato logístico permite uma trajetória suave de transição de modo que nos períodos iniciais e finais as variações dos parâmetros que definem o choque do rompimento no modelo se alteram de forma lenta, porém contínua. O intuito é captar os custos iniciais e finais de reparação que requerem estimativas, análises e planejamento nos períodos iniciais e a dificuldade crescente de identificação dos efeitos remanescentes após certo período de reparação. Por fim, a taxa de desconto de 3% (*i.e.*, de acordo com o título NTN-B 2026 — ou Tesouro IPCA, na nova nomenclatura) reflete o custo de oportunidade do poupador no longo prazo para economia brasileira⁶.

O segundo conjunto de resultados projeta cenários alternativos de perdas futuras até o ano de 2028 e concentra-se no cenário Samarco em Retomada, isto é, temporariamente inoperante até 2018 e com trajetória de retomada a partir de 2019 até sua plena operação em 2028. A escolha do ano de 2028 se deve ao horizonte de planejamento

⁵ Termo de Transação e Ajustamento de Conduta assinado entre representantes dos governos federal, estadual e autarquias e as empresas Samarco Mineração S.A., Vale S.A. e BHP Billinton Brasil Ltda., em março de 2016.

⁶ Por exemplo, uma dívida de R\$ 100 em 2016 à taxa de juros real de 3% a.a. teria o custo de $R\$ 100 \times (1,03)^4 = R\$ 112,55$ em 2020. Sendo esta taxa de juros o custo de alternativas de investimento perdidas. De forma análoga, uma dívida de R\$ 112,55 com vencimento em 2020 valeria R\$ 100 em 2016.

de plena reativação das atividades da Samarco em Mariana-MG até 2028. Para este exercício, foram simulados 12 cenários alternativos.

A interrupção de operação da empresa Samarco é mensurada através da queda na oferta dos fatores de produção terra e capital utilizados na produção do setor extrativo do modelo. A trajetória de recuperação da empresa corresponde à trajetória de recuperação da oferta de terra no setor extrativo ao seu nível pré-rompimento, se iniciando em 2019 até a plena recuperação em 2028, e do estoque de capital do setor extrativo que segue uma lei de movimento padrão dessa literatura. Assim, a recuperação destas variáveis que definem a retomada de operação da Samarco em conjunto com a recuperação dos demais parâmetros do desastre constituem a recuperação econômica do desastre no modelo.

Dentre os diversos cenários, define-se o “Cenário de Referência” nesta última parte do estudo, aquele que combina a Samarco em Retomada, com o PIB ajustado para variações do preço do minério de ferro, com as trajetórias de recuperação das variáveis em formato logístico e a taxa de desconto de 3%.

Esta nota técnica segue da seguinte forma: na Seção 2.1, apresenta-se a literatura de efeitos de longo prazo de desastres e uma discussão sobre construção de cenários. Na Seção 2.2 descreve-se como os resultados de estimação dos impactos no curto prazo, entre 2015 e 2018, pelo Controle Sintético, são utilizados na construção dos cenários. Na Seção 2.3, descrevem-se o modelo, a definição da trajetória de recuperação do desastre e os resultados sob os diversos cenários alternativos para os horizontes 2031 e 2034. Na Seção 2.4, apresentam-se os resultados considerando a recuperação econômicas do desastre e a plena operação da Samarco em 2028, como divulgado pela empresa. Por fim, a última seção fornece uma conclusão e as potenciais implicações de política econômica.

2 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar simulações de cenários do impacto total 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 a 2017 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020b). A primeira parte desta Nota Técnica utiliza as novas informações disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para acrescentar o ano de 2018 na análise de impacto. Estas estimativas até 2018 constituem informações importantes para o modelo na construção dos diversos cenários.

Na Subseção 2.1 apresenta-se a literatura de construção de cenários e a escolha conservadora do cenário aqui utilizada no qual a recuperação se limita a retornar à situação pré-desastre. Na Subseção 2.2 discute-se a importância das estimativas de curto prazo do impacto, no período 2015 a 2018, na calibração do modelo. Além disso, a Subseção 2.3 apresenta a construção de cenários de Recuperação econômica do desastre sob diferentes horizontes temporais (até 2031 no horizonte 1 e até 2034 no horizonte 2), para se estimar o impacto total na renda agregada de Minas Gerais e Espírito Santo. O enfoque desta seção é prover simulações parcimoniosas dos efeitos do desastre excluindo respostas ao desastre que possam ter amplificado seus efeitos como, por exemplo, a paralização judicial da operação da mineradora Samarco. Finalmente, a Subseção 2.4 foca na análise do impacto do desastre considerando o horizonte de Recuperação econômica do desastre e retorno gradual de operação da mineradora Samarco em 2028 como divulgado pela própria empresa.

2.1 Construção de cenários segundo a literatura

São inequívocos os impactos negativos na economia no curto prazo causados por desastres tecnológicos e naturais. Em Fundação Getulio Vargas (2019, p. 32), fazemos um levantamento sobre a literatura de desastre em economia. Na Tabela 1 de Fundação Getúlio Vargas (2019, p. 41-42) apresentamos uma síntese dos impactos de desastres no PIB de diferentes regiões do mundo. Os efeitos de longo prazo na economia são diversos e dependem das características regionais e econômicas. Albala-Bertrand (1993) e Laajaj e Chhibber (2007) trazem uma interessante discussão sobre o impacto no longo prazo e sua falta de consenso. Retomamos a discussão nessa seção. Essa revisão da literatura não tem a intensão de ser exaustiva, mas traz os principais pontos

que ajudam a embasar as decisões necessárias para a construção dos cenários de recuperação de longo prazo neste estudo.

O único consenso no debate dos efeitos de longo prazo de desastres é que ele não é homogêneo entre as regiões e depende das características regionais, sociais e ciclos econômicos. Para ilustrar esses efeitos heterogêneos no longo prazo, destacamos alguns trabalhos aplicados que mensuram os impactos para longos períodos de tempo. Hochrainer (2009) mostra que o impacto no PIB tem um comportamento crescente, passando de -0,53% para -3,98%, em média, do PIB do primeiro ao quinto ano. Sua análise é baseada em 225 desastres em vários países. Cavallo e colaboradores (2013) também analisam diferentes desastres em 196 países e encontram que, em média, após 10 anos o impacto é de -10% a -18% do PIB desses países. Enquanto, em média, os trabalhos mostram impactos negativos mesmo 10 anos após os desastres. Para alguns grupos de países e regiões, geralmente, mais desenvolvidos, os impactos no longo prazo são nulos ou, tecnicamente, positivos. Barone e Mocetti (2014) realizaram um estudo onde analisam dois terremotos no mesmo país, mas em regiões diferentes. Um em Friulli (norte) em 1976 e o outro em Irpinia (sul) em 1980, ambos na Itália. Controlando pelos auxílios financeiros realizados para as duas regiões após os desastres, eles encontram que enquanto no Sul, após 20 anos, o PIB estava 12% menor do que o contrafactual, no norte não se observava mais impacto negativo no PIB. Observou-se que o crescimento do PIB em Friulli estava 23% maior do que seu contrafactual, enquanto a taxa de crescimento do PIB em Irpinia estava 12% abaixo. Os autores argumentam que a produtividade total dos fatores tem um papel crucial na recuperação de longo prazo dessas economias⁷. A principal explicação dos autores para essa grande diferença de impactos são as qualidades das instituições pré-desastres que formam economias locais e ambiente social mais sólidos e mais bem preparados para adversidades.

duPont e Noy (2015) encontram resultados parecidos para as consequências de longo prazo do terremoto em Kobe em 1995. Neste caso, estima-se uma perda de 12% do PIB *per-capita* em relação ao contrafactual de Hyogo, a principal prefeitura de Kobe, que permanecia em 2008 (13 anos depois), quando os autores analisam os dados. Em grande parte, a queda permanente de PIB *per capita* é um fenômeno de realocação populacional. Apesar de as pessoas terem retornado, o PIB não retornou. Os autores

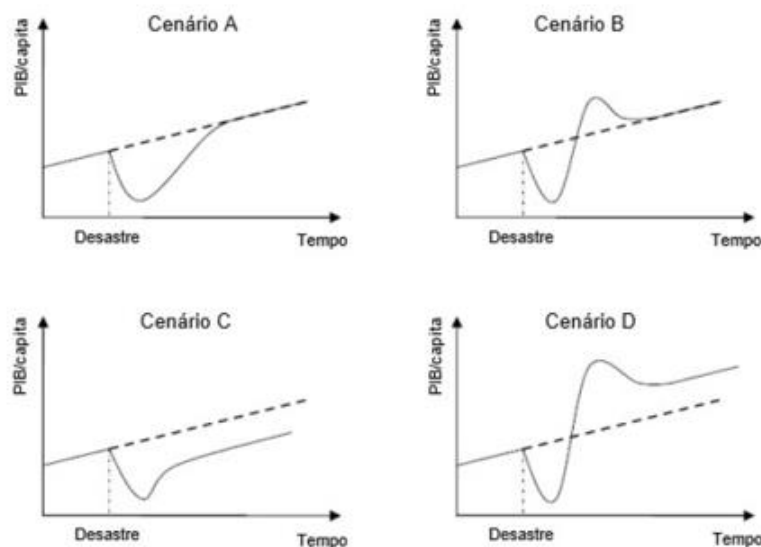
⁷ É interessante notar que o impacto do rompimento da Barragem de Fundão na produtividade total dos fatores é responsável por uma parcela significativa da perda no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, como evidenciado em Fundação Getulio Vargas (2020a).

sugerem que esse resultado acontece apesar do estímulo fiscal, devido à baixa cobertura de seguros inicial.

Adicionalmente, Benson e Clay (2004) e Hallegate e Ghil (2008) argumentam que a heterogeneidade do impacto também depende do momento do ciclo econômico em que o desastre ocorre. Para os autores, as economias em expansão são mais atingidas do que as economias em recessão. Embora esse resultado possa parecer contraintuitivo em princípio, a razão está na utilização dos fatores de produção em cada um desses momentos. Em momentos de recessão, há a subutilização dos fatores de produção, enquanto estes são plenamente utilizados nos momentos de expansão na economia. Assim, sua destruição seria mais sentida por economias que estão no momento ascendente do ciclo econômico.

Para fechar essa breve discussão do impacto de desastres no longo prazo, trazemos, na Figura 1, os possíveis cenários da evolução do PIB após essas catástrofes. Essa figura também é apresentada em Fundação Getúlio Vargas (2019, p. 34), por isso, vamos retomar os principais pontos dessa discussão.

Os cenários A e B mostram que o PIB retorna à mesma trajetória pré-desastre. Como vimos com os estudos empíricos, para essa retomada são necessários planos de recuperação e investimentos de reposição e reconstrução. Esses planos podem levar a uma aceleração momentânea da economia e, no médio prazo, o nível do PIB pode ser acima do contrafactual, mas, com o tempo, se aproxima da trajetória que teria sem o desastre (Cenário B). O Cenário C mostra a piora permanente da situação para as economias, aquela em que o PIB nunca retorna à trajetória anterior devido à destruição de infraestrutura ou recursos naturais irrecuperáveis, como sítios arqueológicos e paisagens naturais. Por último, o cenário D mostra o que é conhecido como destruição criativa, onde os fatores de produção destruídos são substituídos por novos e mais modernos e, conseqüentemente, a economia fica mais produtiva no longo prazo.

Figura 1 — Cenários para o impacto de desastres no longo prazo

Fonte: Adaptado da figura 2 de Laajaj e Chhibber (2007, p.10).

Como é possível ver nessa breve revisão da literatura, o impacto no longo prazo depende de uma série de características da economia local, do momento econômico, planos de recuperação e reconstrução que moldam as perspectivas do futuro das regiões. Antever o impacto de desastres não é uma tarefa fácil e depende da construção de cenários de recuperação que considerem as características regionais e econômicas. A subseção a seguir apresenta as construções de cenários para o presente estudo.

2.2 Resultados de 2015 a 2018 com dados observados utilizados na calibração do modelo

A primeira parte desta Nota Técnica estima a perda conjunta do PIB dos estados de MG e ES devido ao rompimento. 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 2015-2018, isto é, os valores do produto na ausência do desastre.

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 (2003-2014). 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.

Por sua vez, estas estimativas do PIB contrafactual conjunto de MG e ES então disciplinam a calibração do modelo a ser discutido na próxima seção. Em outras palavras, esta primeira etapa de estimação do impacto do rompimento no período 2015-2018 é crucial para informar a escolha dos parâmetros do modelo nesta segunda parte, a fim de obter simulações das possíveis trajetórias de recuperação dos mesmos e, consequentemente, da economia ao seu nível pré-desastre.

2.3 Perda acumulada do PIB — cenários

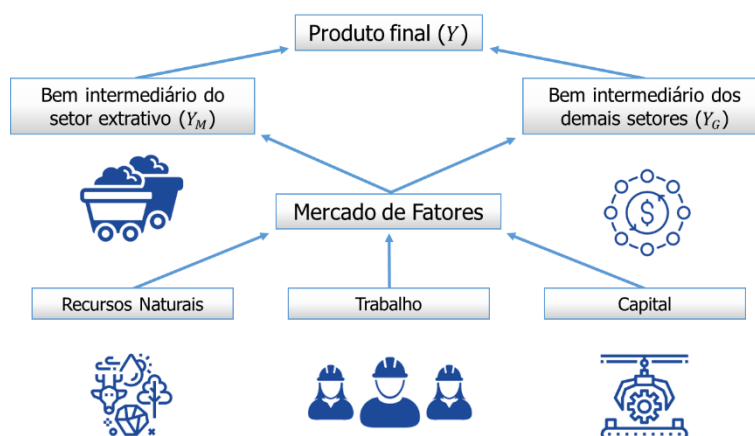
Com base nos resultados com dados observados da renda *per capita* na região de interesse entre 2015 e 2018, esta subseção retoma as contribuições do modelo de equilíbrio geral (MEG) proposto no estudo da Fundação Getúlio Vargas (2020a) e apresenta cenários de estimativas da perda acumulada do PIB para Minas Gerais e Espírito Santo. A Subseção 2.3.1 retoma brevemente a descrição do MEG utilizado nas simulações dos cenários. Na Subseção 2.3.2 apresentam-se os cenários alternativos para a Recuperação econômica do desastre. Finalmente, na Subseção 2.3.3 apresenta-se o custo econômico do desastre sob diferentes cenários.

2.3.1 Modelo macroeconômico: um resumo

No estudo da Fundação Getúlio Vargas (2020a), desenvolve-se um modelo simplificado de equilíbrio geral para representar as economias de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, com o objetivo de mensurar o impacto do rompimento da Barragem de Fundão na economia da região. Nesta subseção, retomamos as principais características do modelo de forma sucinta, pois será por meio dele que vamos criar os cenários de recuperação econômica no longo prazo.

A estrutura do modelo é apresentada na Figura 2. A economia de Minas Gerais e Espírito Santo é representada por dois setores: o setor extrativo (M) e os demais setores da economia (G). Essa divisão se deu por dois motivos: o primeiro é devido ao desastre ter se iniciado no setor extrativo, especificamente no setor de extração mineral; o segundo motivo se deve à parada da produção da Samarco que potencializou o impacto do desastre. Com essa estrutura, podemos identificar o impacto no setor extrativo e sua propagação para os demais setores da economia.

Figura 2 — Estrutura do modelo de longo prazo



Fonte: Elaboração própria (2021).

A produção em cada setor depende de três fatores de produção: i) recursos naturais (N), ii) trabalho (H), e iii) capital físico (K). Os recursos naturais são específicos de cada setor, de modo que a terra que é utilizada para o setor extrativo (N_M) não pode ser utilizada nos demais setores da economia (N_G), e vice-versa. Dessa forma, captura-se a característica de que o recurso natural é localizado e específico.

A oferta de capital para ambos os setores K_M e K_G está sujeita a uma lei de movimento exógena no sistema de equações do modelo que pode ser representada pela seguinte equação:

$$K_{jt} = \nu K_{jt}^* + (1 - \nu) K_{jt-1} \quad (1)$$

onde K_{jt} é o estoque de capital físico do setor $j = \{M, G\}$ no período t ; K_{jt}^* é o estoque de capital físico ótimo na ausência de custo de ajuste do setor $j = \{M, G\}$ no período t ; e ν representa o custo de ajuste de capital ao seu nível ótimo (K^*).

O trabalho é mensurado em unidades de capital humano, onde se considera a diferença na produtividade do trabalhador devido a diferenças em escolaridade. Há um estoque fixo de capital humano em cada ano na economia que é dividido entre aqueles que trabalham no setor M (H_M), no setor G (H_G) e ficam desempregados ($H_u = H_{uM} + H_{uG}$). O mercado de trabalho é representado por modelos de busca de emprego (McGall (1970) e Ljungqvist e Sargent (2012)), onde há as probabilidades de se encontrar e perder o emprego no setor G (s_G e f_G , respectivamente) e no setor extrativo (s_M e f_M , respectivamente), que são potencialmente diferentes. Elas dependem da estrutura institucional da economia, dos ciclos econômicos e de expectativas de mercado.

O equilíbrio no mercado de trabalho depende da relação de igualdade entre o valor que um trabalhador dá para um emprego no setor G, no setor M e ficar desempregado. No

tocante ao estoque de capital físico, as firmas podem escolher seus níveis de investimentos (sujeitos às condições de mercado, como o preço dos serviços do capital), porém a oferta do capital está sujeita a uma lei de movimento exógena. Dessa forma, alterações nos parâmetros da economia, alteram o nível ótimo de capital e, assim, alteram a dinâmica de acumulação de capital.

Além dos fatores de produção, as produtividades totais dos fatores (A_G e A_M) de cada setor são parâmetros cruciais no seu desempenho. A produtividade total dos fatores do setor G (A_G) tem uma interpretação interessante no modelo. Como o rio Doce não tem valor de mercado — ele é considerado um bem público — e pode ser utilizado para a agricultura e pecuária, por exemplo, sem custo, esse recurso natural não entra no fator de produção N_G ou N_M , mas sim em A_G . Assim, a destruição do rio Doce será capturada por uma redução em A_G . Consequentemente, no modelo, todo fator de produção com características de bens públicos está sendo capturado pela produtividade total dos fatores do setor G. Outra interpretação para esse parâmetro é a de qualidade e produtividade do solo por onde a lama passou. Ela também captura a perda de valor de imóveis e propriedades devido à destruição de amenidades próximas, como paisagens, o rio etc.

A produtividade total dos fatores do setor M (A_M) também tem uma interpretação importante. Como os produtos do setor M são considerados *commodities* no mercado internacional, A_M captura também choques externos e variações de preços internacionais.

Portanto, por meio desse modelo simples, é possível capturar os principais aspectos das economias de Minas Gerais e Espírito Santo e analisar como o desastre impactou os fatores de produção, as produtividades e os parâmetros do mercado de trabalho dos setores e, consequentemente, sua produção. Ainda, como essa perturbação se propagou para outros setores, seja por meio dos preços dos insumos ou sua destruição. É possível mensurar o impacto no PIB dos setores, na massa de remuneração dos fatores de produção e o impacto no emprego setorial e desemprego geral da economia. Por fim, é possível decompor a parcela do impacto que se deveu a perturbações no mercado de trabalho, destruição de capital físico e o impacto na produtividade total dos fatores (A_G e A_M), separadamente. Pretende-se consolidar essas análises nos produtos que serão entregues ao longo do EDT04. Para o presente estudo, focar-se-á na perda da renda agregada total do desastre.

A subseção seguinte apresenta as trajetórias de recuperação dos fatores de produção, condições no mercado de trabalho e produtividades.

2.3.2 Trajetórias de recuperação dos fatores de produção, condições no mercado de trabalho e produtividades

As estimativas da perda total da renda agregada em Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, são calculadas a partir da diferença entre o PIB da economia sem a ocorrência do rompimento (contrafactual) e o PIB com o rompimento. No presente exercício, utilizou-se o último ano com informações observáveis (2018) como ponto de partida da trajetória de recuperação das variáveis.

Como apresentado em Fundação Getúlio Vargas (2020c), o modelo macroeconômico consiste em um sistema de oito equações que determinam variáveis como o PIB de cada setor, a quantidade de emprego setorial, a remuneração do trabalho em função das produtividades totais e a força de trabalho total.

Dado o modelo contrafactual simulado, faz-se necessário a construção da recuperação econômica do desastre no período pós 2018, definida pelas trajetórias de recuperação de um conjunto de variáveis em direção às condições da economia num contexto sem a ocorrência do rompimento. Assim, a definição do desastre no modelo está associada à trajetória de recuperação de três conjuntos de variáveis (exógenas no modelo): i) oferta dos fatores de produção; ii) condições do mercado de trabalho; e iii) produtividades. Em contrapartida, no modelo contrafactual mantêm-se essas variáveis constantes ao nível de 2018, obtidas por meio do ajuste do modelo aos valores contrafactuais do PIB obtidos através do Controle Sintético. Mais detalhes serão apresentados ao longo desta subseção.

A perda da renda agregada devido ao choque pode ser definida no modelo macroeconômico como resultante de uma perturbação nas seguintes variáveis (exógenas):

- I Fatores de produção:
 - a) Oferta de capital físico no setor G (K_G);
 - b) Oferta de capital físico no setor M (K_M);
 - c) Recursos naturais do setor M (N_M);
- II Condições do mercado de trabalho:
 - a) Probabilidade de perder o emprego no setor G (s_G);
 - b) Probabilidade de perder o emprego no setor M (s_M);
 - c) Probabilidade de encontrar emprego no setor G (f_G);

d) Probabilidade de encontrar emprego no setor M (f_M);

III Produtividade total dos fatores:

a) Produtividade do setor G (A_G);

b) Produtividade do setor M (A_M).

Em um cenário simulado sem o rompimento da Barragem de Fundão (contrafactual), com a empresa Samarco podendo operar normalmente nos períodos (cenário explicado em detalhes na subseção seguinte), o Quadro 1 mostra a dinâmica (se são estáticos ou se variam) dos parâmetros e variáveis exógenas em três períodos: i) pré-rompimento (2003-2014); ii) pós-rompimento (2015-2018); e iii) nos anos simulados após 2018. Como se pode observar, há um conjunto de variáveis fixas em todos os períodos, como a Participação da renda dos bens de capital (α). Existem também as que variam até 2018 e, para o exercício em questão, são consideradas constantes após 2018, por exemplo, Oferta de capital humano (H).

Quadro 1 — Dinâmica das variáveis exógenas utilizadas no modelo — cenário contrafactual

Definição	Parâmetros	Varia no período?		
		2003-2014	2015-2018	Após 2018
Participação da renda dos bens de capital	α	Não	Não	Não
Participação da renda dos recursos naturais	β	Não	Não	Não
Participação da renda capital humano	$1 - \alpha - \beta$	Não	Não	Não
Participação da renda dos recursos naturais	θ	Não	Não	Não
Participação da renda capital humano	$1 - \phi - \theta$	Não	Não	Não
Elasticidade de substituição entre setores	ρ	Não	Não	Não
Importância relativa do setor extrativo	λ	Não	Não	Não
Custo de ajuste do capital físico	ν	Não	Não	Não
Taxa de depreciação do capital físico	δ	Não	Não	Não
Taxa de separação do setor G	s_G	Sim	Sim	Sim
Taxa de separação do setor M	s_M	Sim	Sim	Sim
Taxa de encontro da economia	f	Sim	Sim	Sim
Taxa de encontro do setor G	f_G	Sim	Sim	Sim
Taxa de encontro do setor M	f_M	Sim	Sim	Sim
PTF setor G	A_G	Sim	Sim	Sim
PTF setor M	A_M	Sim	Sim	Sim
Oferta de capital físico setor G	K_G	Sim	Sim	Sim
Oferta de capital físico setor M	K_M	Sim	Sim	Sim

Definição	Parâmetros	Varia no período?		
		2003-2014	2015-2018	Após 2018
Oferta de recursos naturais do setor G	N_G	Não	Não	Não
Oferta de recursos naturais do setor M	N_M	Não	Não	Sim*
Oferta de capital humano	H	Sim	Sim	Não
Taxa de juros de longo prazo	r	Sim	Sim	Não

Fonte: Elaboração própria (2021).

Nota: A oferta de recursos naturais do setor M, N_M , varia apenas no caso Samarco em Retomada.

Para os modelos simulados com a ocorrência do desastre e o fechamento da Samarco, o impacto em K_M e N_M capta a interrupção da produção minerária pela empresa após o rompimento da barragem. É importante pontuar que é uma estimativa, visto que não temos os valores que são efetivamente utilizados pela empresa.

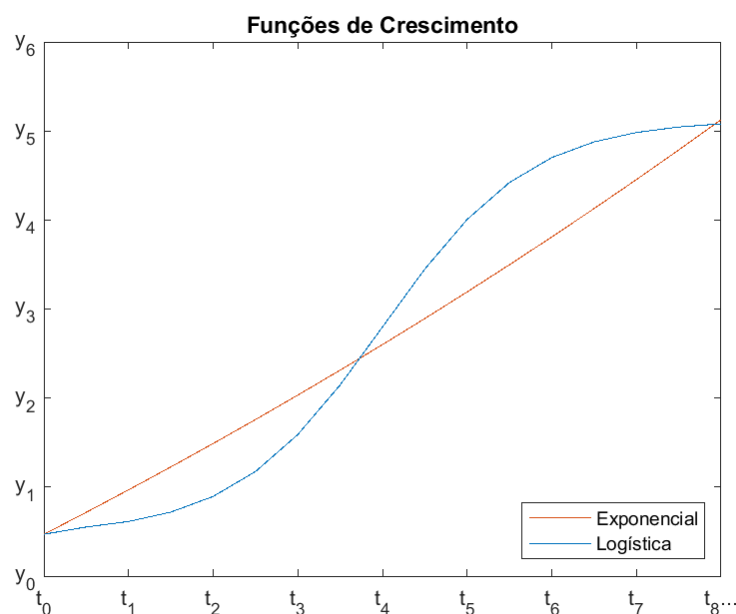
Antes de discutir a construção das trajetórias alternativas das variáveis exógenas e endógenas afetadas pelo rompimento, é importante explicar brevemente o processo de calibração dos parâmetros. Para os fatores de produção, o choque sobre essas variáveis é contingente ao cenário permitir a Samarco em Retomada ou Samarco Aberta. Já para os parâmetros das condições do mercado de trabalho, estimaram-se os seus respectivos valores contrafactuais no período estimado através um modelo autorregressivo de ordem 1. Por fim, buscaram-se os valores da produtividade total do fatores de ambos os setores (A_G e A_M) de modo a aproximar o valor correspondente ao PIB contrafactual conjunto de MG e ES no período 2015-2018, obtido na primeira parte desta nota, e o seu valor observado. Vale ressaltar que, para a calibração dos parâmetros de produtividade, foram utilizados os respectivos valores dos fatores de produção e parâmetros de condições do mercado de trabalho. Por exemplo, na calibração das produtividades setoriais para o PIB contrafactual considerou-se a operação da Samarco e as taxas de separação e de encontro contrafactuais. Os detalhes da calibração dos parâmetros e variáveis exógenas estão descritos em (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2020c).

Como o impacto potencialmente afetou esse conjunto de variáveis, é necessário supor cenários de recuperação para elas. Para isso, define-se que os fatores de produção, condições no mercado de trabalho e produtividades estão recuperados se o seu valor é igual ao seu valor contrafactual estimado. Como vamos estimar o impacto do desastre no longo prazo e não o nível do PIB com e sem desastre, fixamos o PIB total em seu

valor contrafactual de 2018⁸, último ano de que temos informações para a calibração do modelo macroeconômico, com exceção dos estoques de capital físico.

Os fatores de produção para ambos os setores K_M e K_G , estão sujeitos à lei de movimento exógena do sistema de equações do modelo, Equação (1). Para os outros fatores (exceto N_M , que juntamente com K_M define a operação ou não da Samarco), supomos duas dinâmicas de recuperação: uma função de recuperação exponencial e uma logística, como se pode observar na Gráfico 1 a seguir. Um ponto de suma importância é o horizonte temporal que será avaliado. Com base na Cláusula 232 do TTAC⁹, utilizam-se dois períodos de análise a partir de 2016: 15 anos (mencionados na Cláusula), o que abrange até 2031, e 18 anos, com base no atraso dos programas da Fundação Renova, com horizonte até 2034.

Gráfico 1 — Trajetórias de recuperação dos fatores de produção, condições do mercado de trabalho e produtividades



Fonte: Elaboração própria (2021).

⁸ Na próxima seção, explicamos de forma mais detalhada a metodologia para o cálculo do impacto no longo prazo e suas suposições.

⁹ "FUNDAÇÃO destinará o montante fixo, não superior ou inferior, de R\$ 240.000.000,00 (duzentos e quarenta milhões de reais) por ano, corrigidos nos termos da CLÁUSULA 257, por um período de 15 (quinze) anos a partir de 2016, dentro dos respectivos orçamentos anuais, para execução de PROJETOS de natureza compensatória e de medidas compensatórias no âmbito dos PROGRAMAS, sendo certo que os valores não utilizados, no todo ou em parte, em um determinado exercício social serão acrescidos ao referido montante fixo do exercício seguinte" (TRF-1, 2016).

Matematicamente, podemos definir as funções de recuperação da seguinte forma:

- Função exponencial: $X_t = X_0 \times e^{gt}$
- Função logística: $X_t = X_0 + (X_T - X_0) \frac{1}{(1+e^{-gt})}$

onde X_t é o valor da variável X no ano t , X_0 é o valor da variável observado com desastre em 2018 e X_T é o valor que a variável terá após T anos, sendo 2031 ou 2034, a depender do cenário. X_T é de fato o valor da variável no cenário sem desastre. Assim, para essas duas trajetórias, o ponto inicial é o valor observado da variável em 2018 e o ponto final é o valor contrafactual estimado para 2018. Por último, g é a taxa de crescimento para que a variável saia de X_0 e atinja X_T em T anos. É calculado um g para cada variável na trajetória exponencial. Para a trajetória logística, o g depende somente de T .

Cada trajetória possui uma implicação diferente da trajetória de recuperação dos fatores de produção, produtividades e condições do mercado de trabalho. A exponencial mostra que a aceleração da recuperação vai aumentando com o tempo. Assim, no começo, há pouca diferença nos primeiros anos, mas ela vai aumentando até o último ano. De outra forma, podemos interpretar como se nos primeiros anos os agentes precisassem identificar os danos, calcular as perdas antes de começar o processo de recuperação. Após iniciada, ela tende a se acelerar até o último ano.

A trajetória logística, por sua vez, tem uma implicação alternativa para a recuperação das variáveis. Como se pode observar, ela tem uma mudança de concavidade após algum tempo. Ela começa convexa, assim como a trajetória exponencial, mas se torna côncava após alguns anos. Desse modo, o começo da recuperação pode ser interpretado da mesma forma que o começo da trajetória exponencial, onde os agentes precisam de um tempo para começar efetivamente a recuperação, iniciando de forma mais lenta e acelerando. Entretanto, a recuperação não se acelera até o final, mas, após alguns anos, ela passa a reduzir a velocidade.

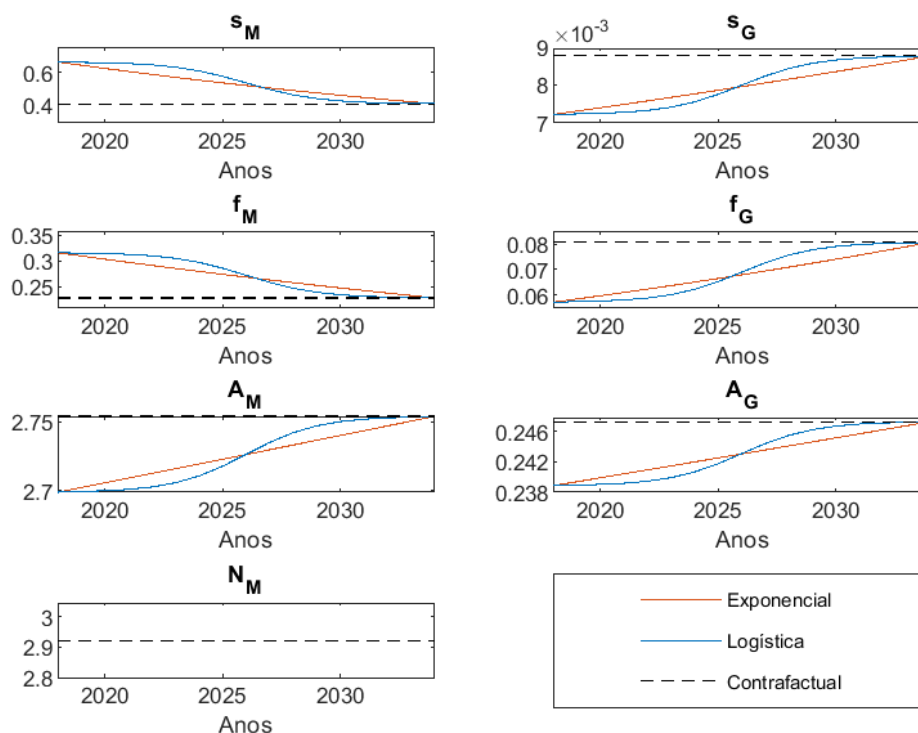
Pode-se interpretar essa redução como devido ao aumento da complexidade de restabelecer as condições anteriores a partir de um determinado momento. Por exemplo, recuperar a qualidade de solos substancialmente comprometidos pelos metais encontrados nos rejeitos que os cobriram ou reduzir as incertezas de contaminação de determinadas áreas e produtos. Outra interpretação para essa redução na velocidade de recuperação é devido ao tamanho do desastre e suas várias dimensões e extensão territorial, o que torna a recuperação mais lenta para determinadas áreas e fatores.

Em princípio, cada fator de produção poderia ter um tempo de recuperação e trajetória diferente, mas para evitar deixar a construção dos cenários mais complexos, opta-se

por utilizar uma trajetória ou outra para todos os fatores de produção, condições do mercado de trabalho e produtividade. Assim, o Gráfico 2 mostra a recuperação das variáveis mencionadas para o modelo calibrado com o PIB ajustado para o horizonte temporal mais longo. O Apêndice A mostra as trajetórias de recuperação no cenário do PIB sem ajuste, onde se pode observar que a dinâmica é muito semelhante.

A partir da Gráfico 2, nota-se que para s_G , f_G , A_G , A_M e N_M , o valor contrafactual é maior do que o observado com o desastre. Para as variáveis s_M e f_M , o valor contrafactual é menor. Como já discutido em Fundação Getulio Vargas (2020c), há um aumento da rotatividade no setor M, ou seja, o emprego no setor ficou mais instável com o desastre.

Gráfico 2 — Trajetórias de recuperação (2015-2034) — PIB com ajuste: Samarco Aberta



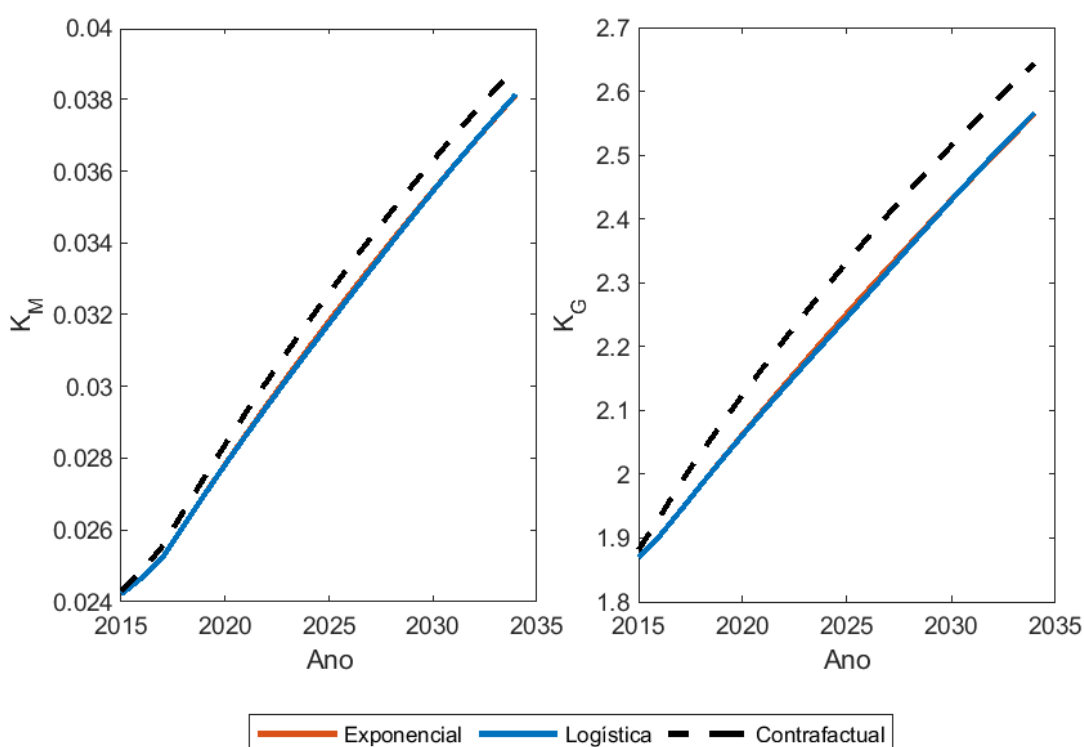
Fonte: Elaboração própria (2021).

O Gráfico 3 mostra a evolução dos estoques de capital físico (K_G e K_M) no cenário contrafactual (linha preta tracejada) e com desastre (linhas vermelha e azul), novamente para o modelo calibrado com o PIB ajustado¹⁰. As linhas vermelha e azul correspondem à dinâmica de recuperação das variáveis econômicas, nas trajetórias exponencial e logística, respectivamente, sendo numericamente muito próximas, por isso as linhas

¹⁰ Para o caso sem ajuste, ver Apêndice A.

ficam sobrepostas. Como esse fator se acumula a partir da lei de movimento, ele aumenta em ambos os cenários. É bom retomar que no cenário com desastre, a cada ano em que os parâmetros se recuperam, eles determinam um novo nível para K^* , o estoque de capital de longo prazo, dos dois setores e, assim, influenciam na dinâmica de curto prazo.

Gráfico 3 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2034) — PIB com ajuste: Samarco Aberta



Fonte: Elaboração própria (2021).

Por fim, cabe finalizar esta seção detalhando melhor a metodologia de estimação do impacto do desastre no longo prazo. Como mencionado, não estimamos o nível do PIB contrafactual e o que seria observado no futuro com o desastre. Há outros fatores macroeconômicos que devem ser levados em consideração para essa previsão, o que torna a análise demasiado complexa para o principal objetivo que é a estimação do impacto do desastre. Para isso, a principal hipótese é a tendência paralela a partir de 2018 para o cenário com e sem desastre. Essa hipótese diz que qualquer choque macroeconômico acontecerá em ambos os cenários, com desastre e no contrafactual. Exemplificando, o impacto da pandemia da Covid-19 afeta igualmente ambos os cenários. Ao mesmo tempo, essa hipótese também considera o impacto do rompimento da Barragem de Brumadinho em Minas Gerais em ambos os cenários.

De maneira geral, na metodologia, mantêm-se os valores dos parâmetros e variáveis exógenas (mas variantes no tempo), no cenário contrafactual, iguais a 2018 (como apresentado no Quadro 1). Apenas o estoque de capital que é dinâmico e se altera e se acumula com o tempo. No cenário com desastre, os fatores de produção (N_M), condições de mercado de trabalho (s_G , s_M , f_G e f_M) e produtividades (A_G e A_M) têm suas trajetórias de recuperação mostradas na seção anterior e as demais variáveis exógenas iguais aos valores de 2018. Desse modo, entre as estimativas, há somente a diferença entre as ofertas de capitais, ofertas de terra no setor M, condições no mercado de trabalho e produtividades. A diferença entre os PIBs desses cenários é o impacto do rompimento em cada ano.

2.3.3 Estimativas das perdas acumuladas do PIB

Para um dado ano, define-se como perda do PIB a diferença entre a renda agregada calculada no cenário contrafactual (isto é, sem a ocorrência do rompimento da Barragem de Fundão) e a renda agregada calibrada para este cenário com o desastre. Com base na discussão da subseção anterior, pode-se construir uma vasta gama de cenários que incluem o desastre no modelo macroeconômico, porém de maneiras distintas.

Do ponto de vista da construção dos cenários, de 2015 a 2018, o modelo foi calibrado com base nos dados advindos do controle sintético. De modo que o PIB no contexto com o desastre é o observado e disponibilizado pelo IBGE, enquanto o PIB contrafactual corresponde às séries de PIB do Contrafactual 2, obtido na primeira parte desta Nota Técnica.

É importante ressaltar que, para a estimação do PIB contrafactual, utilizam-se duas séries de PIB alternativas: o PIB sem ajuste (*i.e.*, o dado observado) e o PIB com ajuste pelo preço do minério de ferro. O ajuste do PIB pelo preço do minério de ferro busca filtrar as variações do mesmo decorrentes de oscilações de preços da *commodity* que se seguiram ao rompimento. Um aumento de preço, por exemplo, poderia reduzir o impacto total devido à simples valorização do minério de ferro no mercado internacional. Desta forma, para os cenários do PIB sem ajuste, por exemplo, utilizaram-se apenas séries de PIB sem a correção pelo preço do minério de ferro em ambos os casos (com e sem o desastre). A estratégia é análoga para o cálculo de perda do PIB na série com ajuste.

A Figura 3 apresenta o conjunto de cenários de “Recuperação econômica do desastre” que foram simulados para o presente estudo. A figura está em formato de árvore de decisão para facilitar o entendimento de cada um deles.

As primeiras setas indicam a possibilidade de ajuste do PIB contrafactual e do PIB observado, que serão utilizados para simulação dos diferentes cenários de recuperação econômica do desastre. A linha seguinte de decisão consiste no horizonte temporal em que será medida a perda do PIB. Calculou-se a perda de 2019 a 2031, e de 2019 a 2034. A diferença entre esses cenários consiste na velocidade de convergência das variáveis de interesse, apresentadas no Gráfico 2 anterior.

Na sequência, a possibilidade de cenário de recuperação é se a simulação do mundo com desastre leva em consideração a operação ou interrupção temporária de operação da empresa mineradora Samarco S.A. na extração do minério de ferro. Consequentemente, pode-se dividir estes cenários entre “Samarco Aberta” e “Samarco em Retomada”, respectivamente. Como mencionado na seção anterior, em todas as simulações abaixo do guarda-chuva “Samarco Aberta” considera-se que não houve choque no estoque de terras e no estoque de capital do setor M, tal como estão no Gráfico 2, com relação ao N_M , e Gráfico 3, com relação ao K_M . No caso “Samarco em Retomada”, por sua vez, foi considerado um choque negativo em ambas as variáveis do setor M, como se pode observar nas figuras apresentadas no Apêndice A.

Para cada uma das combinações Samarco em Retomada vs. Samarco Aberta e até 2031 vs. até 2034, calcularam-se as trajetórias de recuperação com duas funções: logística ou exponencial. Para finalizar, para cada função, aplicaram-se três simulações de taxas de desconto (0%, 3% e 5%).

Ao todo, têm-se 48 cenários ($2 \times 2 \times 2 \times 3$, pela combinação das decisões). As simulações consideradas como Cenários de Referência nesta subseção estão sinalizadas com um círculo em vermelho na Figura 3. São elas:

1. PIB com ajuste — **2019 a 2031** — Samarco Aberta — Logística — 3%
2. PIB com ajuste — **2019 a 2034** — Samarco Aberta — Logística — 3%

Optou-se por priorizar os resultados da “Samarco Aberta” para se descontarem os efeitos das ações judiciais da interrupção da extração, com enfoque nos demais prejuízos econômicos. A escolha dos horizontes se baseou nos seguintes critérios: i) de 2019 a 2031, o que corresponde a 15 anos após 2016, conforme estipulado no TTAC; e ii) de 2019 a 2034, o que incluiria um acréscimo de três anos, haja vista o atraso dos projetos de reparação, repactuação e fomento da economia da Fundação Renova.

Por sua vez, o PIB com ajuste foi escolhido em face da importância do setor extrativo nos estados, sobretudo no Espírito Santo. A função logística teve por base a ideia de uma convergência com forte crescimento nos primeiros períodos e uma desaceleração dessa aproximação entre as variáveis contrafactuais nos períodos, no sentido de

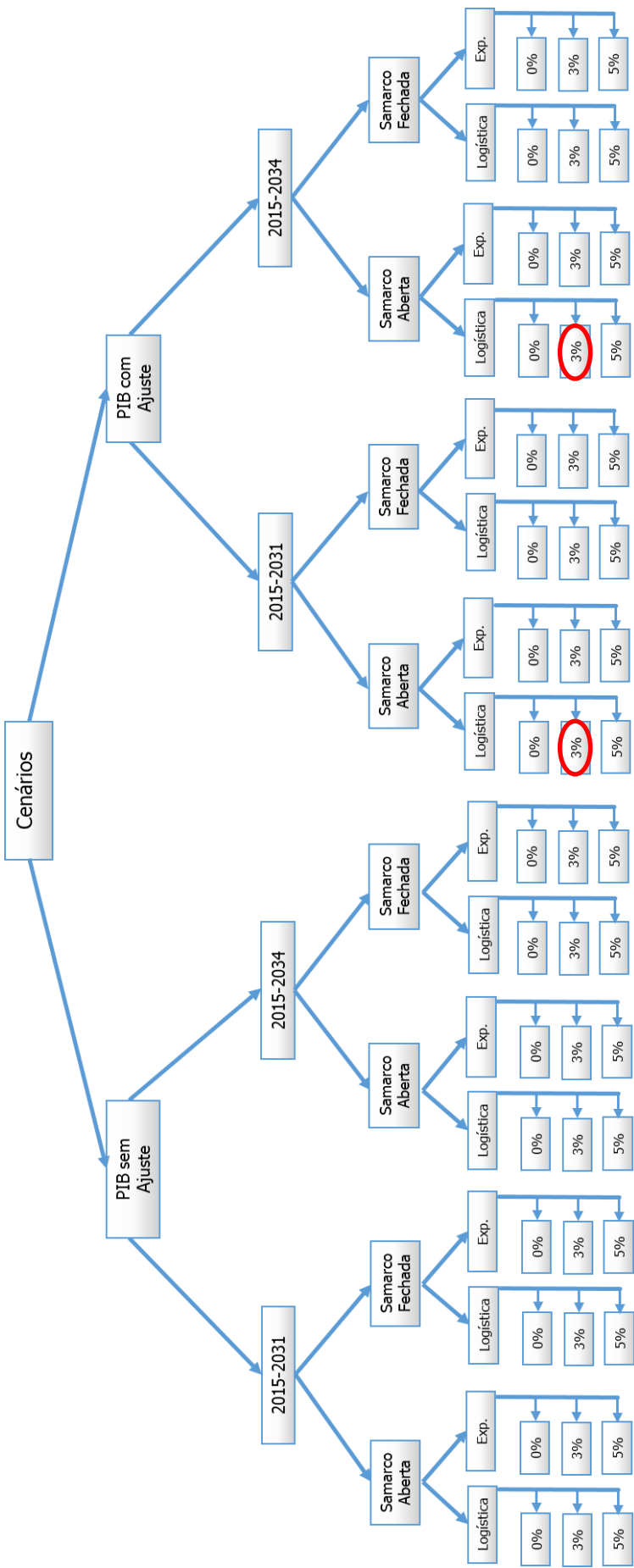
aumento da dificuldade crescente ao longo do tempo – essa característica de rendimentos marginais decrescentes é muito comum em análises econômicas.

Adicionalmente, aplicou-se uma taxa de desconto de 3% em face ao custo de oportunidade da taxa real de juros de longo prazo. Desse modo, sobre circunstâncias normais, o custo social dos recursos deveria ficar no meio dos rendimentos com impostos e os rendimentos líquidos de imposto. Grande parte da literatura de finanças públicas tem usado maneiras de inferir as taxas que o livre mercado, em ausência de distorções, fixaria. No presente estudo, opta-se por utilizar taxas reais entre 3% e 5% que revelam o custo dos recursos públicos com impostos pois são observadas diretamente dos títulos públicos corrigidos pela inflação medida pelo IPCA (NTN-B ou Tesouro IPCA, na nova nomenclatura). Por exemplo, no fim de junho, a taxa de rendimento real estava em 3,88% a.a., para vencimento em 2026, enquanto com vencimento em 2035 estava em 4,21% a.a.

Por fim, todos os resultados reportados neste estudo estão a preços de 2020, corrigido pelo deflator implícito do PIB¹¹.

¹¹ Nos estudos anteriores, como em Fundação Getúlio Vargas (2020b), os resultados estão a preços de 2016. No período entre 2016 e 2020, o deflator apresentou acréscimo de 18,4%, o que significa que um impacto de 100 a preços de 2016 corresponde a um impacto de 118,4 a preços de 2020.

Figura 3 — Elaboração dos cenários



Fonte: Elaboração própria (2021).

A Tabela 1 apresenta as estimativas das perdas acumuladas do PIB total e setorial — PIB do setor extrativo (M) e PIB dos demais setores (G) — para os 48 cenários. Todos os resultados estão a preços de R\$ bilhões de 2020. Pode-se notar que, para o conjunto de simulações com as trajetórias exponenciais e a Samarco em Retomada e PIB com o ajuste pelo minério de ferro, no período de 2019 a 2031 as perdas no setor extrativo situam-se entre R\$ 26 bilhões (sob 5% de taxa de desconto) e R\$ 31 bilhões (sob 0% de taxa de desconto)¹².

Ainda no mesmo cenário, pode-se observar que as perdas nos demais setores situam-se entre R\$ 337 bilhões (sob 5% de taxa de desconto) e R\$ 400 bilhões (sob 0% de taxa de desconto), o que resulta em uma perda do PIB Total entre R\$ 363 bilhões (sob 5% de taxa de desconto) e R\$ 430 bilhões (sob 0% de taxa de desconto).

De forma geral, vale ressaltar dois padrões importantes dos resultados. Em primeiro lugar, os resultados obtidos utilizando o PIB com ajuste tendem a apresentar maiores perdas se comparados aos respectivos resultados do PIB sem ajuste. Esta característica sugere que variações no preço podem ter aliviado a perda de recursos causada pelo rompimento. Em segundo lugar, a trajetória logística tende a apresentar perdas um pouco maiores que o caso exponencial. Isso porque, no primeiro caso, a recuperação é mais lenta, como exposto anteriormente. Em contraste, a trajetória exponencial implica uma recuperação dos parâmetros que se acelera no tempo, permitindo um retorno à situação inicial cada vez mais rápido.

Na tabela seguinte estão destacados os dois cenários de referência, ambos com a Samarco Aberta, PIB com ajuste, função logística e taxa de desconto de 3%; a diferença entre eles está no horizonte temporal. Na comparação entre esses cenários, ressalta-se a perda do PIB do setor extrativo entre R\$ 20 bilhões (2015-2031) e R\$ 23 bilhões (2015-2034), perda nos demais setores entre R\$ 369 bilhões (2015-2031) e R\$ 432 bilhões (2015-2034), o que resulta em uma perda do PIB Total entre R\$ 389 bilhões (2015-2031) e R\$ 455 bilhões (2015-2034).

O Gráfico 4 a seguir apresenta os resultados das simulações do modelo no Cenário de Referência. O gráfico mostra as perdas anuais do PIB Total entre 2019 e 2031, figuras (a) e (b), e entre 2019 e 2034, figuras (c) e (d). Como pode ser visto, o valor presente das perdas (sob diferentes taxas de desconto) exibe uma trajetória suave com perdas maiores nos primeiros anos e menores nos finais, uma implicação direta da trajetória logística de Recuperação econômica do desastre.

¹² Mais informações sobre o cálculo do Valor Presente Líquido e sobre as taxas de desconto podem ser consultadas no Apêndice B.

Tabela 1 — Cenários das perdas acumulada em Retomada s do PIB total e setorial (R\$ bilhões de 2020)

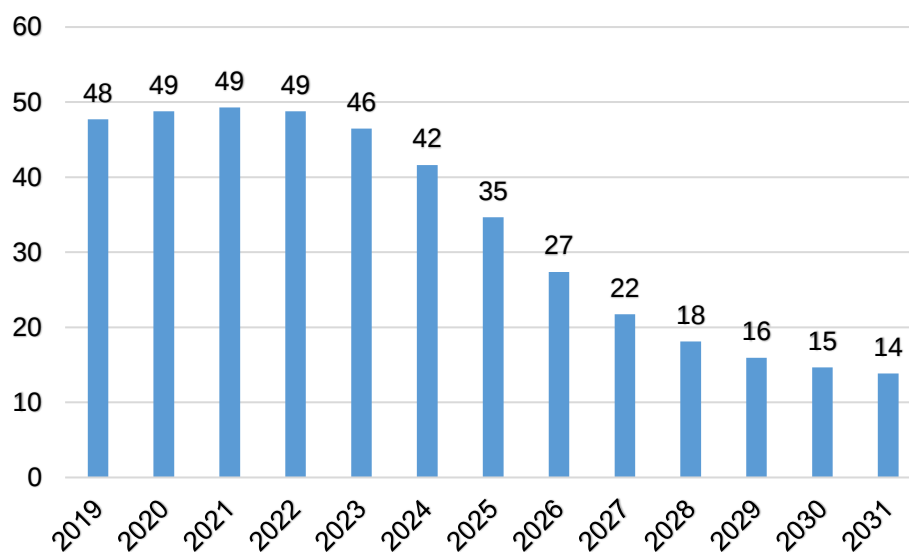
Componentes	Trajetória Exponencial											
	Samarco em Retomada						Samarco Aberta					
	2019-2031			2019-2034			2019-2031			2019-2034		
	0%	3%	5%	0%	3%	5%	0%	3%	5%	0%	3%	5%
Cenários do PIB com ajuste												
PIB M	-31	-28	-26	-39	-34	-31	-20	-18	-17	-26	-23	-21
PIB G	-400	-359	-337	-509	-442	-406	-383	-344	-323	-488	-424	-389
PIB Total	-430	-387	-363	-548	-476	-437	-404	-363	-340	-514	-446	-410
Cenários do PIB sem ajuste												
PIB M	-28	-25	-24	-35	-31	-29	-18	-16	-15	-23	-20	-18
PIB G	-364	-327	-307	-464	-402	-370	-348	-313	-293	-443	-384	-353
PIB Total	-392	-353	-331	-499	-433	-398	-366	-329	-308	-466	-404	-371

Componentes	Trajetória Logística											
	Samarco em Retomada						Samarco Aberta					
	2019-2031			2019-2034			2019-2031			2019-2034		
	0%	3%	5%	0%	3%	5%	0%	3%	5%	0%	3%	5%
Cenários do PIB com ajuste												
PIB M	-33	-30	-28	-39	-35	-32	-22	-20	-19	-26	-23	-22
PIB G	-423	-383	-361	-510	-448	-415	-407	-369	-348	-490	-432	-400
PIB Total	-456	-414	-390	-549	-483	-448	-429	-389	-367	-517	-455	-422
Cenários do PIB sem ajuste												
PIB M	-30	-28	-26	-36	-32	-30	-20	-18	-17	-23	-21	-19
PIB G	-386	-349	-329	-464	-408	-378	-369	-335	-316	-445	-392	-363
PIB Total	-416	-377	-355	-500	-440	-408	-389	-353	-333	-468	-412	-382

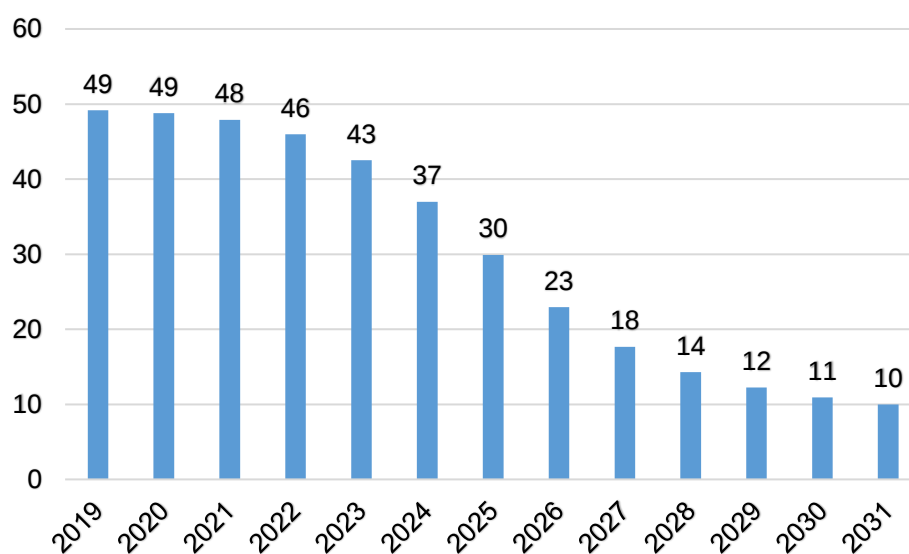
Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Gráfico 4 — Perda do PIB Total anual no Cenário de Referência (R\$ bilhões de 2020)

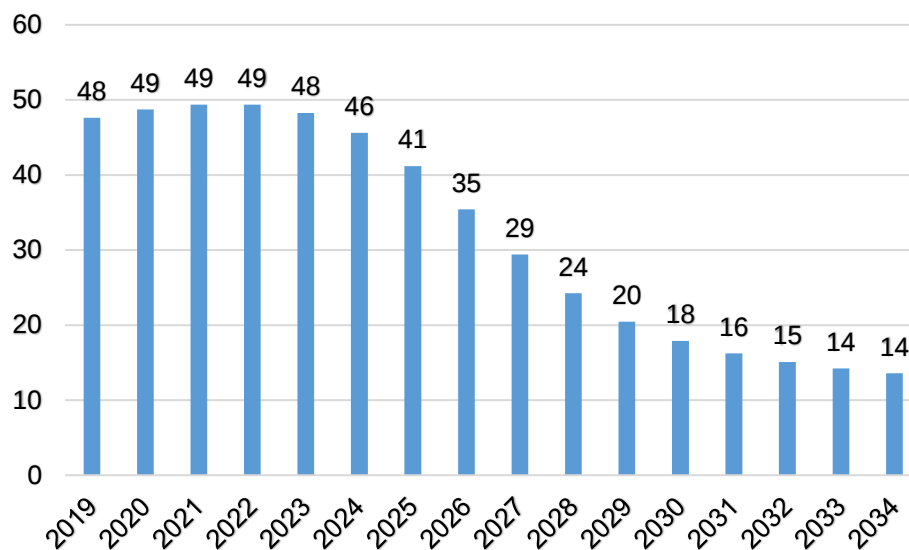
(a) 2019-2031 (Desconto 0%)



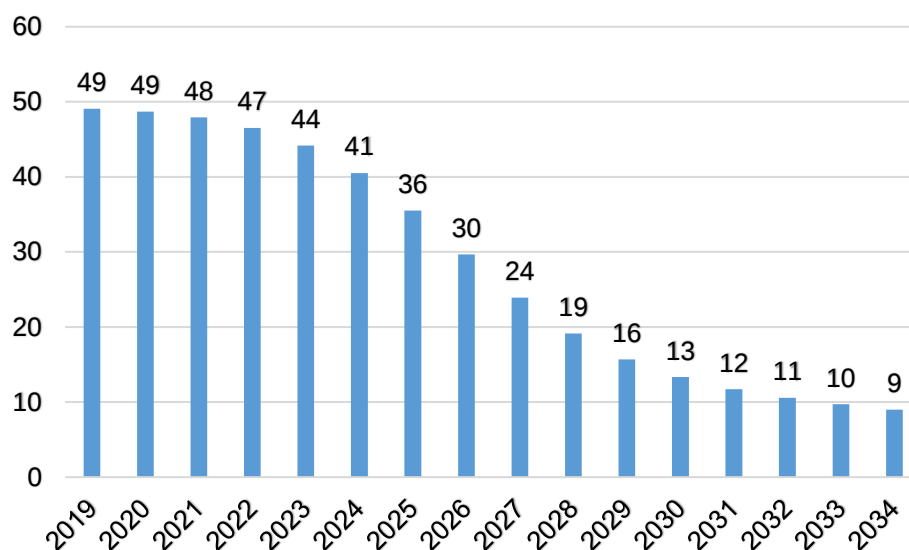
(b) 2019-2031 (Desconto 3%)



(c) 2019-2034 (Desconto 0%)



(d) 2019-2034 (Desconto 3%)

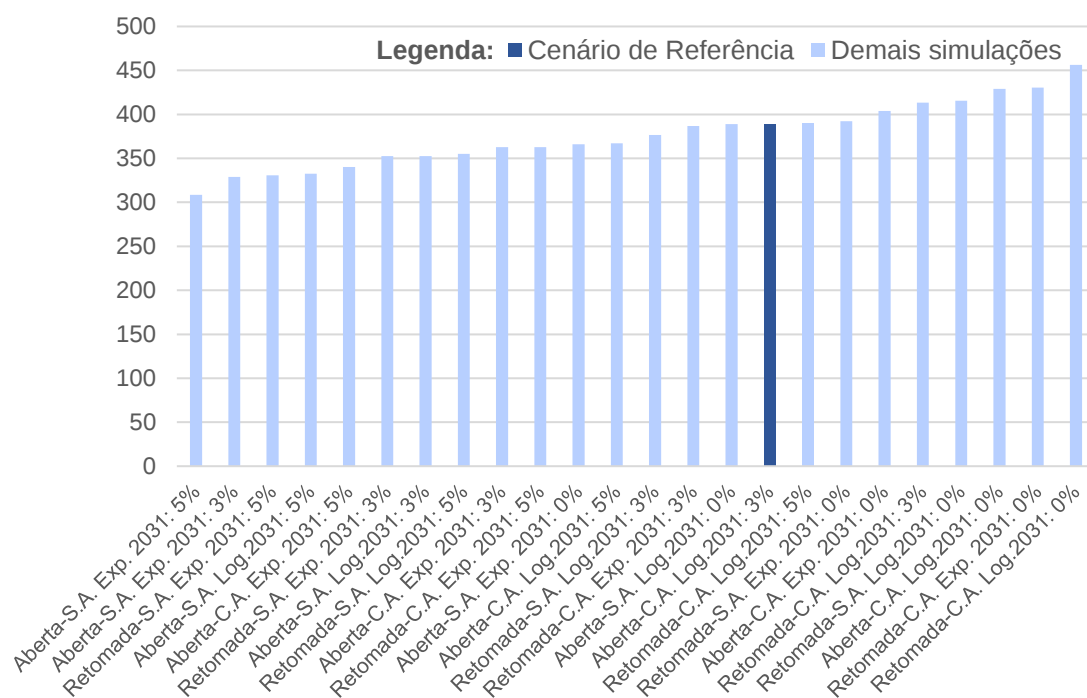


Fonte: Elaboração própria (2021).

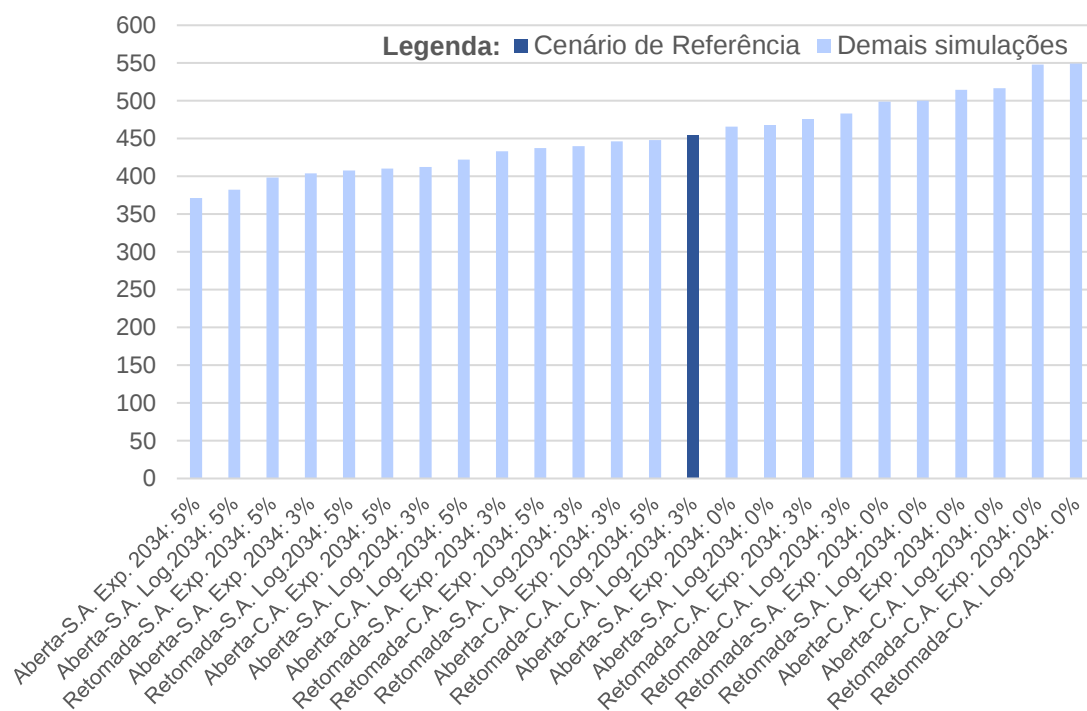
Por fim, o Gráfico 5 apresenta as perdas totais em cada um dos cenários, colocados em ordem crescente, e ressalta em azul-escuro os dois cenários escolhidos como limites inferior e superior da perda econômica total nos cenários de referência citados acima. Como se pode observar, os valores dos cenários destacados em azul-escuro se encontram relativamente distantes dos cenários extremos (de maior e menor valor) em ambos os horizontes considerados. Sendo, portanto, estimativas conservadoras do real impacto total.

Gráfico 5 — Perda acumulada do PIB — cenários (R\$ bilhões de 2020)

(a) 2019-2031



(b) 2019-2034



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

Observação: Em Sequência está o Glossário com as nomenclaturas utilizadas

Termo	Glossário
Retomada	Empresa Samarco em Retomada
Aberta	Empresa Samarco Aberta
S.A.	PIB Sem Ajuste
C.A.	PIB Com Ajuste
Exp.	Trajetoária Exponencial
Log.	Trajetoária Logística
2031	Período de Análise de 2015 a 2031
2034	Período de Análise de 2015 a 2034
0%,3%,5%	Taxas de desconto (a.a.)

2.4 Estimativas das perdas acumuladas do PIB sob plena recuperação de operação da Samarco em 2028

2.4.1 Cenários de retomada da operação da Samarco

Esta seção projeta cenários alternativos de perdas futuras até o ano de 2028. A escolha do ano de 2028 se deve ao horizonte de planejamento de plena reativação das atividades da Samarco em Mariana-MG até 2028. Assim como nas seções anteriores, calibra-se o modelo de equilíbrio geral utilizando a trajetória do PIB anterior ao desastre (2003-2014) e os impactos estimados através do Controle Sintético no período 2015-2018, de modo a replicar o comportamento da economia nesse período. A partir da do modelo calibrado, seguiu-se a simulação da trajetória futura sob diversos cenários alternativos.

Desta maneira, o modelo permite gerar uma variedade de cenários alternativos (e suas respectivas implicações de perdas no produto) onde se considera a recuperação da economia e da mineradora Samarco a partir de 2018 até a sua plena atividade em 2028, a possibilidade de diferentes especificações de trajetórias de recuperação futura e diferentes taxas de desconto aplicadas aos valores de perda ao longo do tempo.

Como mencionado na seção anterior, a interrupção de operação da empresa Samarco é mensurada através da queda na oferta dos fatores de produção terra e capital utilizados na produção do setor extrativo do modelo. A trajetória de recuperação da empresa corresponde à trajetória de recuperação da oferta destes fatores ao seu nível pré-rompimento, se iniciando em 2019 até a plena operação em 2028. Assim, a recuperação destas variáveis que definem a retomada de operação da Samarco em conjunto com a recuperação das demais variáveis do desastre constituem a recuperação econômica do desastre.

Nesta seção, os resultados para as séries do PIB com e sem o ajuste pela variação do preço do minério de ferro são apresentados sob cenários alternativos que consideram as diferentes combinações das seguintes possibilidades:

- a) As trajetórias futuras dos parâmetros exógenos do modelo para o cenário de recuperação em formato logístico ou exponencial, de modo a captar diferentes ritmos de recuperação;
- b) Três possíveis taxas de desconto (0%, 3% e 5% a.a.).

Para todos esses cenários considera-se a empresa Samarco temporariamente inoperante de 2015 a 2018 e com trajetória de retomada a partir de 2019 até sua plena operação em 2028. Dessa forma, foram construídos e estimados 12 cenários alternativos. Dentre os diversos cenários, considera-se o “Cenário de Referência”, aquele que combina a empresa Samarco temporariamente inoperante (Samarco em Retomada), com o PIB ajustado para variações do preço do minério de ferro, com as trajetórias de recuperação das variáveis em formato logístico e a taxa de desconto de 3%. Nessa linha, o caso Samarco em Retomada permite considerar o impacto gerado no PIB considerando a decisão judicial de paralização da atividade da empresa.

2.4.2 Estimativas de perdas acumuladas do PIB sob retomada de operação da Samarco

Como mencionado na seção anterior, em todas as simulações “Samarco em Retomada” considera-se que houve choque negativo (i.e., redução) no estoque de terras e no estoque de capital do setor extrativo (setor M no modelo), tal como apresentados no Apêndice A.

A Tabela 2 apresenta as estimativas das perdas acumuladas do PIB total e setorial — PIB do setor extrativo (M) e PIB dos demais setores (G) — para os 12 cenários. Todos os resultados estão a preços de R\$ bilhões de 2020. Pode-se notar que, para o conjunto de simulações com as trajetórias exponenciais e PIB com o ajuste pelo minério de ferro, no período de 2019 a 2028 as perdas mensuradas no setor extrativo estão entre R\$ 21 bilhões (sob 5% de taxa de desconto) e R\$ 23 bilhões (sob 0% de taxa de desconto).

Ainda no mesmo cenário, pode-se observar que as perdas nos demais setores situam-se entre R\$ 262 bilhões (sob 5% de taxa de desconto) e R\$ 294 bilhões (sob 0% de taxa de desconto), o que resulta em uma perda do PIB Total entre R\$ 283 bilhões (sob 0% de taxa de desconto) e R\$ 317 bilhões (sob 5% de taxa de desconto).

De forma geral, vale ressaltar dois padrões importantes dos resultados. Em primeiro lugar, os resultados obtidos utilizando o PIB com ajuste tendem a apresentar maiores perdas se comparados aos respectivos resultados do PIB sem ajuste. Esta característica sugere que variações no preço podem ter aliviado a perda de recursos causada pelo rompimento. Em segundo lugar, a trajetória logística tende a apresentar perdas apenas um pouco maiores que o caso exponencial, isso porque, no primeiro caso, a recuperação é mais lenta nos períodos iniciais, como exposto anteriormente. Em contraste, a trajetória exponencial implica uma recuperação dos parâmetros que se acelera no tempo, permitindo um retorno à situação inicial cada vez mais rápido¹³.

Outro ponto importante dos resultados é o perfil decrescente dos valores do impacto do rompimento mensurados sob desconto de 0% a 5% a.a. Como mencionado na seção anterior, a normalização das perdas a valores de 2020 tende a elevar o valor presente do impacto em 2019 e reduzir os valores do período simulado (pós-2020). Assim, a menor magnitude do impacto anual nos períodos finais tende a reduzir o valor total do impacto sob o desconto de 5% a.a.

Na Tabela 2 está destacado o Cenário de Referência: Samarco em Retomada, PIB com ajuste, função logística e taxa de desconto de 3%, no horizonte temporal entre 2019-2028. Neste cenário, ressalta-se a perda do PIB do setor extrativo de R\$ 22 bilhões no período, e a perda nos demais setores de R\$ 276 bilhões, o que resulta em uma perda do PIB Total de R\$ 298 bilhões. Como se pode observar, os valores do cenário destacado são valores intermediários, isto é, se encontram relativamente distantes dos cenários extremos (de maior e menor valor) dentre os diversos cenários considerados.

A proporção do impacto mensurado entre os setores mostra que o impacto no setor extrativo (M) tende a ser relativamente menor que o mesmo nos demais setores (G), seguindo a sua participação também menor no PIB total da economia de MG e ES.

Por fim, os cenários apresentados na Tabela 2 abaixo, são comparáveis aos cenários sob “Samarco em Retomada” apresentados na Seção 2.3.3, porém calculados ali considerando os horizontes até 2031 e até 2034. Como pode ser visto na

¹³ O valor do parâmetro exponencial obtido nas simulações gera uma trajetória aproximadamente linear. Assim, o cenário exponencial pode ser interpretado como uma trajetória de recuperação linear da Samarco e das demais variáveis de recuperação do modelo. As trajetórias estão descritas no Apêndice A.

Tabela 1 da Seção 2.3.3 anterior, o impacto total estimado considerando a recuperação econômica e de plena operação da empresa Samarco Mineração no horizonte até 2028 é significativamente menor que o impacto total no horizonte até 2031, uma vez que o ajuste completo da economia à situação inicial demandaria um horizonte maior necessário ao ajuste do estoque de capital.

Tabela 2 — Cenários das perdas acumuladas do PIB total e setorial no período 2019-2028 — Samarco em Retomada (R\$ bilhões de 2020)

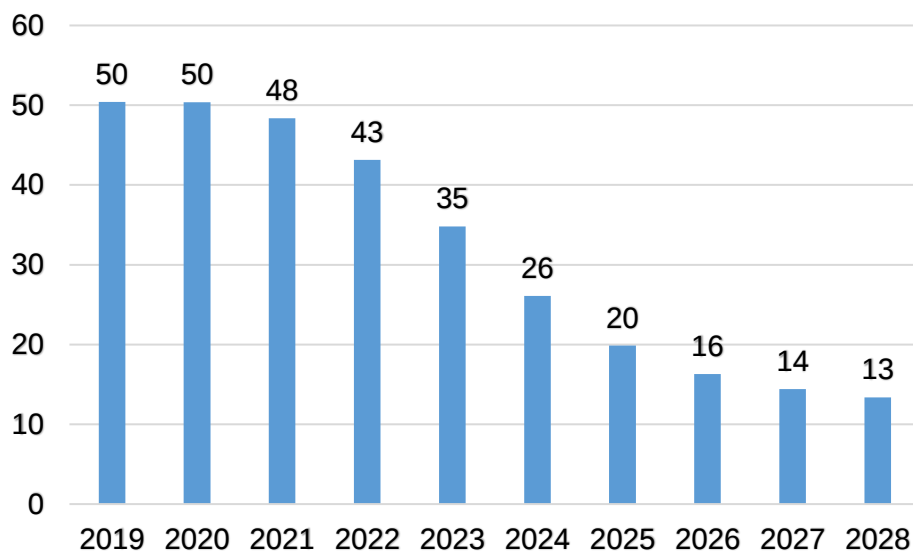
Componentes	Exponencial			Logística		
	0%	3%	5%	0%	3%	5%
Cenários do PIB com ajuste						
PIB M	-23	-21	-21	-23	-22	-21
PIB G	-294	-274	-262	-294	-276	-266
PIB Total	-317	-295	-283	-317	-298	-287
Cenários do PIB sem ajuste						
PIB M	-21	-20	-19	-21	-20	-19
PIB G	-268	-250	-239	-268	-252	-243
PIB Total	-289	-269	-258	-289	-272	-262

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

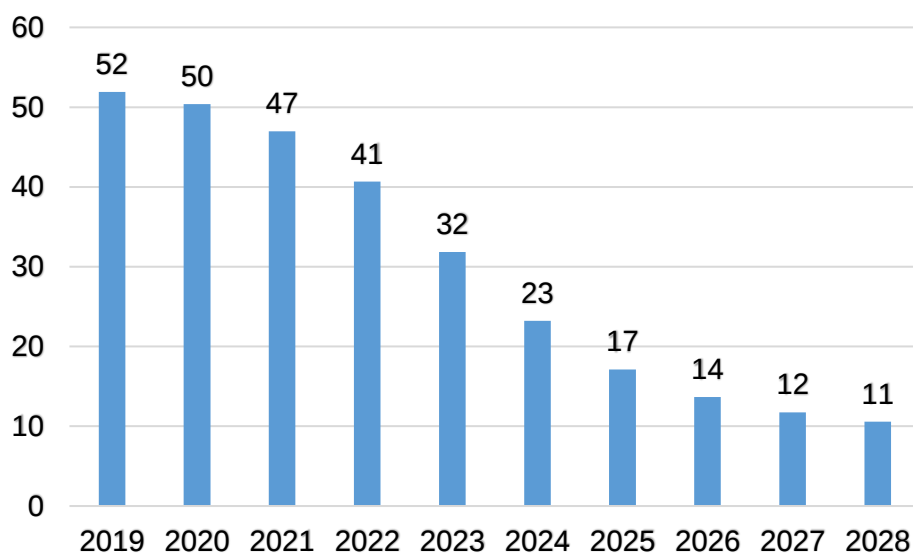
O Gráfico 6 a seguir apresenta os resultados anuais de perda do PIB Total para o período simulado no Cenário de Referência desta seção entre 2019 e 2028, figuras (a) e (b), e entre 2019 e 2031, à título de comparação, figuras (c) e (d). Observa-se que, ao levar em consideração a taxa de desconto de 3% as perdas em 2019 são maiores relativamente ao cenário de taxa de desconto de 0%, enquanto as perdas nos períodos mais longos são menores. Este comportamento é consequência da definição de 2020 como ano base. Por fim, vale ressaltar que a recuperação econômica do desastre até o ano final (2028 ou 2031) não zera as perdas em função do ajuste lento do estoque de capital da economia ao seu valor de longo prazo.

Gráfico 6 — Perda do PIB Total anual no Cenário de Referência (R\$ bilhões de 2020)

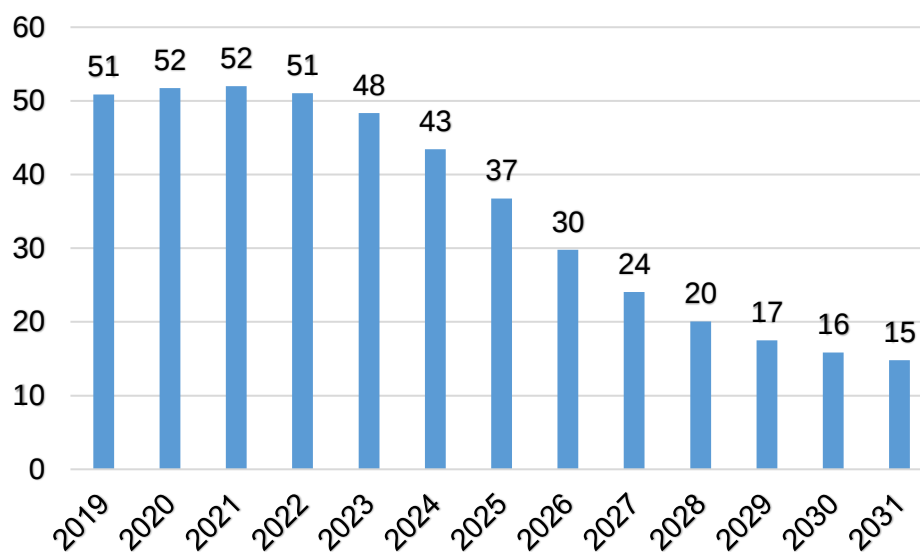
(a) 2019-2028 (Desconto 0%)



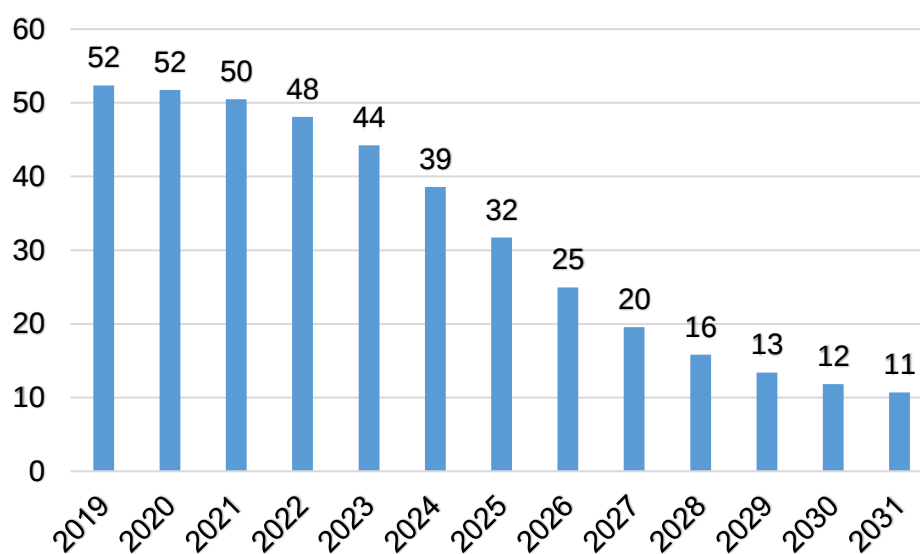
(b) 2019-2028 (Desconto 3%)



(c) 2019-2031 (Desconto 0%)



(d) 2019-2031 (Desconto 3%)



Fonte: Elaboração própria (2021).

3 CONCLUSÃO

O presente estudo simula as perdas do PIB para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, projetando cenários alternativos de perdas futuras de 2019 até os anos de 2031 e 2034, sob a não interrupção das atividades da Samarco no período 2015-2018, e até o ano de 2028 que considera a interrupção de suas atividades devido à decisão judicial nesse período.

A partir da estimação do PIB contrafactual de MG e ES (isto é, na ausência do rompimento) com os dados observados no período logo após o rompimento (2015-2018) realizada na primeira parte deste estudo, obtém-se os parâmetros do modelo de equilíbrio geral utilizado para a elaboração dos diversos cenários.

O grande desafio na elaboração dos cenários de recuperação está nas escolhas das hipóteses de recuperação das variáveis potencialmente atingidas pelo desastre. Desta forma, buscou-se permitir uma ampla gama de possibilidades alternativas que pudessem contemplar distintos aspectos cruciais do rompimento da barragem. Neste sentido, foram elaborados um total de 60 cenários alternativos. Além disso, sugeriu-se um intervalo de valores para o impacto futuro sobre o PIB conjunto de MG e ES como sendo a referência da análise e que caracterizassem estimativas conservadoras e parcimoniosas.

Os resultados das simulações para os horizontes 2031 e 2034 mostram que, levando em consideração as características dos fundamentos da economia brasileira, os impactos futuros do rompimento nos horizontes considerados podem ser substanciais. Sobre este ponto, a velocidade do ajuste da economia às variações nos seus fundamentos tem um papel importante ainda que se considere o retorno aos seus fundamentos sob diversos horizontes temporais.

Adicionalmente, as diferentes possibilidades de trajetória de recuperação dos fundamentos da economia (exponencial e logística) mostram uma implicação importante para a recuperação ao desastre. A trajetória de recuperação logística, por exemplo, implica que há um custo significativo da lentidão de resposta ao impacto nos primeiros anos após o desastre. A demora de reparações e programas compensatórios pode implicar valores que somam bilhões ao longo do tempo. Essa diferença diminui se há mais tempo para efetivar a recuperação ou caso efetive-se a reparação e compensação o quanto antes. Consequentemente, o custo de ações de reparação será menor quanto mais cedo forem iniciadas, caso opte-se por implementá-las.

Outra forma de comparar os resultados de ambas as trajetórias é interpretar a possibilidade de se alternar de uma trajetória, por exemplo logística, para uma trajetória exponencial a partir de ações de compensação dos impactos. Assim, medidas decisivas de reparação podem permitir a alternância de trajetórias por parte da economia, o que poderia alterar tanto a trajetória real de recuperação quanto o impacto total. Em suma, ações de reparação nos períodos iniciais podem contribuir para que a economia mude de uma trajetória de maior custo inicial (logística) para uma trajetória de menor custo inicial (exponencial), a depender da capacidade de análise, identificação, planejamento e implementação destas ações.

O último conjunto de resultados deste trabalho foca no horizonte de recuperação da economia e da empresa Samarco até 2028, como projetado pela empresa, também sob diversos cenários alternativos. Os resultados indicam que os valores do impacto total mensurado para este horizonte de referência são significativamente menores que o impacto no horizonte 2019-2031, uma vez que o período não é suficiente para que a economia se ajuste totalmente à situação inicial. Além disso, como esperado, os valores obtidos do impacto sobre o PIB conjunto que considera a interrupção de operação da empresa Samarco tendem apresentar valores maiores que o impacto sob o cenário de continuação das atividades da empresa.

Por fim, é importante ressaltar que as simulações de cenários apresentadas não devem ser vistas como um exercício de previsão futura da economia nos horizontes de tempo analisados. O exercício de previsão demandaria um esforço de análise do comportamento futuro de diversas variáveis dos fundamentos da economia como, por exemplo, do nível de produtividade e dinâmica do mercado de trabalho. Desse modo, procurou-se simular cenários alternativos de recuperação da economia ao seu nível pré-desastre, ou seja, o pleno retorno dos fundamentos da economia ao seu nível inicial guiaria a economia ao seu nível contrafactual em 2018, o último ano para o qual obtemos estimativas contrafactuais a partir dos dados observados.

Em suma, embora não seja possível exaurir todas as possibilidades alternativas de recuperação ao rompimento, procurou-se contemplar os principais aspectos e diversas possibilidades de trajetórias de retorno dos fundamentos da economia de modo a fornecer um intervalo de valores, dentre os quais os valores de referência, que possa incluir o verdadeiro valor do impacto.

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>.

_____. **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>.

_____. **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>>.

_____. **Rompimento da Barragem da de Fundão: Estimativas da Perda Acumulada do PIB para os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo**. São Paulo; Rio de Janeiro. 2021.

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.

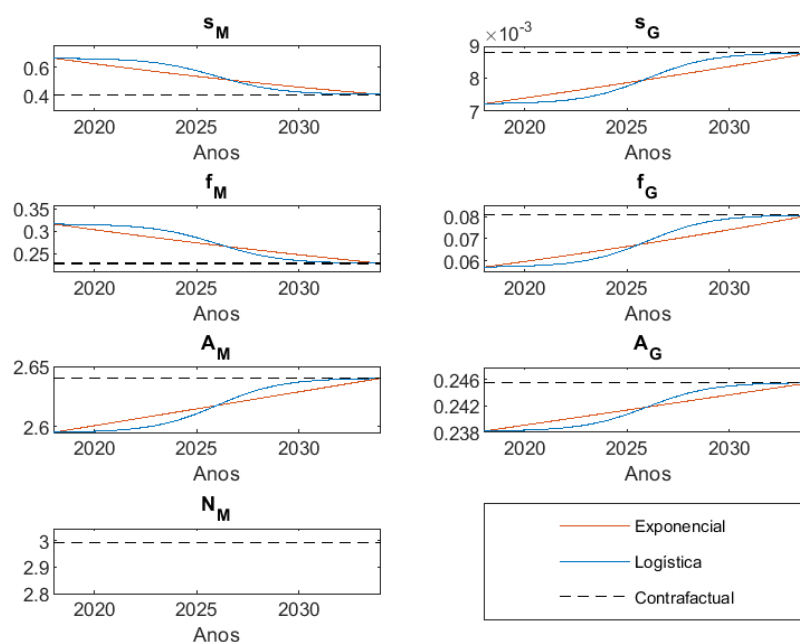
LJUNGQVIST, L.; SARGENT, T. J. **Recursive Macroeconomic**. Nova York: [s.n.], 2012.

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.

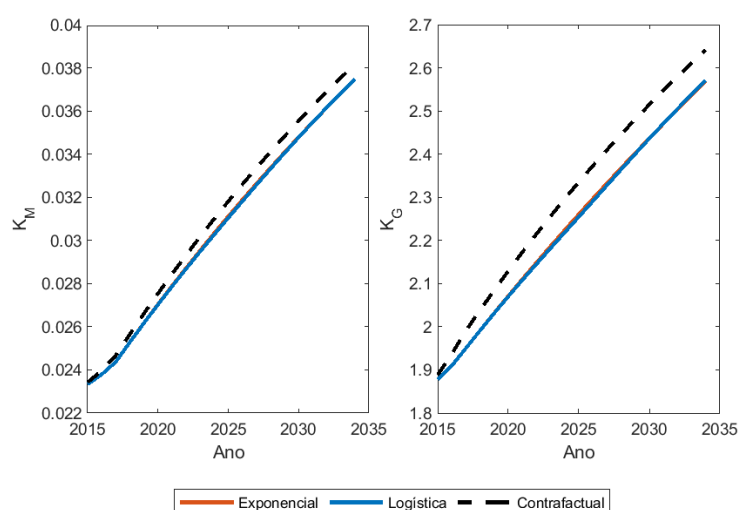
APÊNDICE A — Trajetórias de recuperação nas demais simulações

Gráfico 1 — Trajetórias de recuperação (2015-2034) — PIB sem ajuste: Samarco Aberta



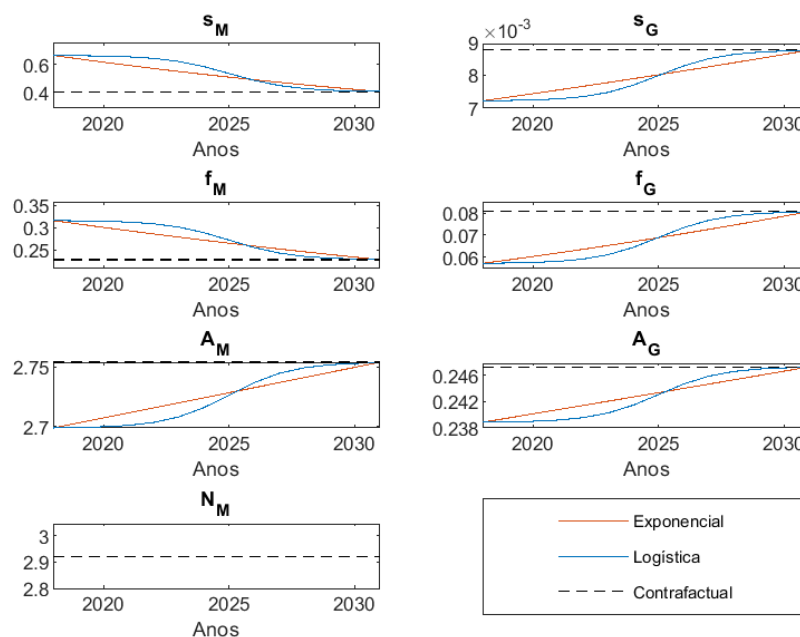
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 2 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2034) — PIB sem ajuste: Samarco Aberta



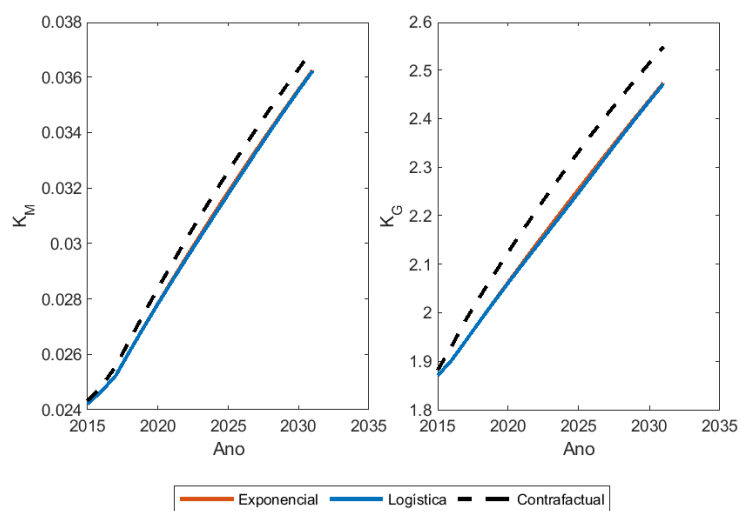
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 3 — Trajetórias de recuperação (2015-2031) — PIB com ajuste: Samarco Aberta



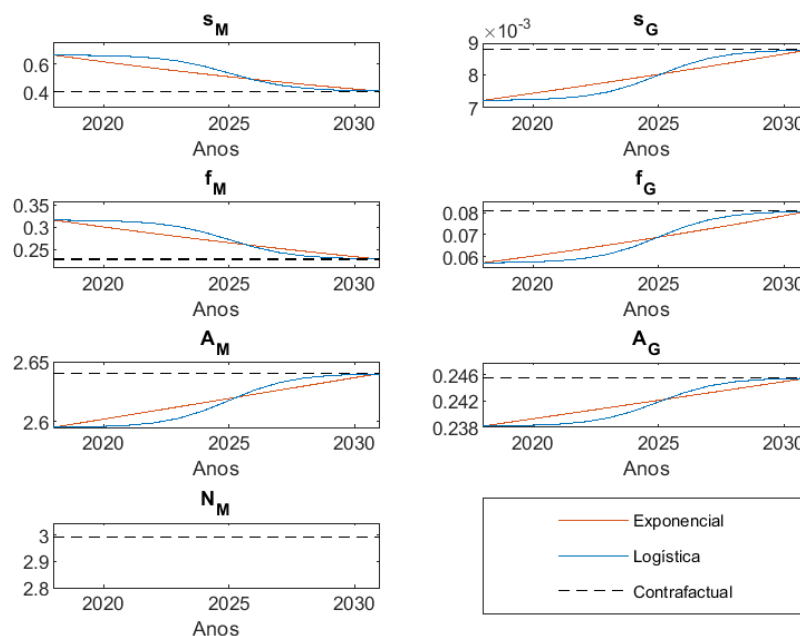
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 4 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2031) — PIB com ajuste: Samarco Aberta



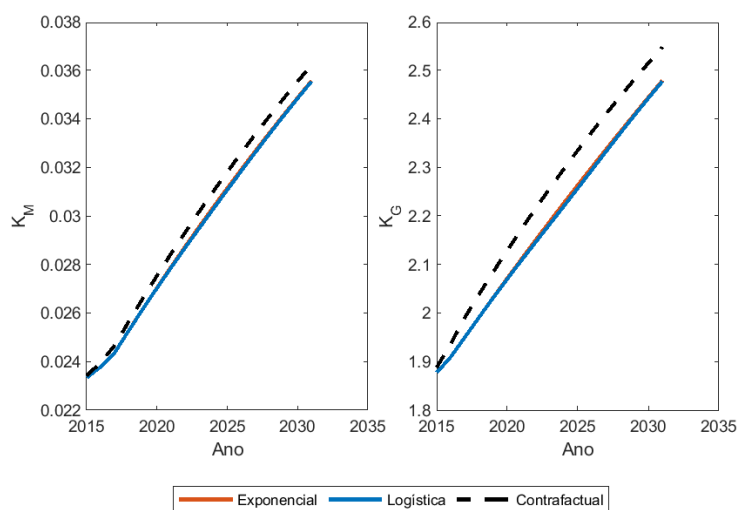
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 5 — Trajetórias de recuperação (2015-2031) — PIB sem ajuste: Samarco Aberta



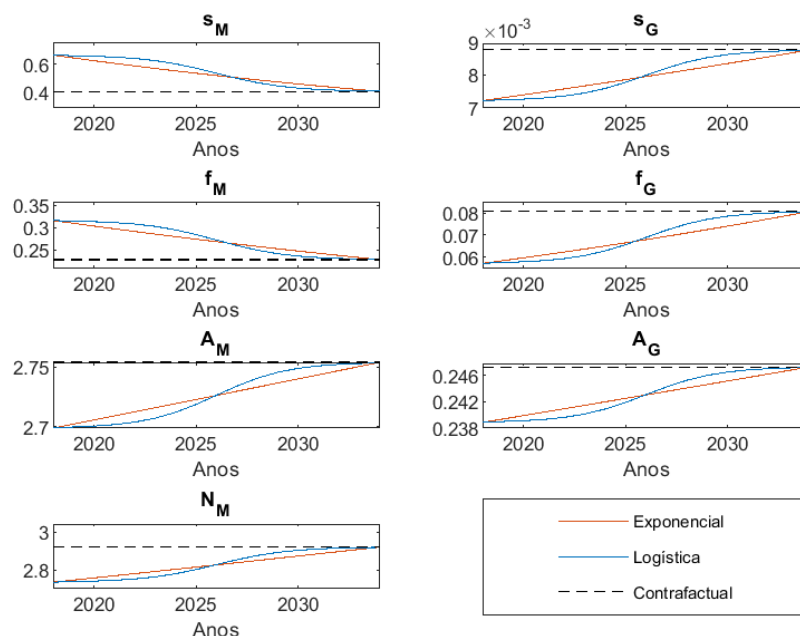
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 6 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2031) — PIB sem ajuste: Samarco Aberta



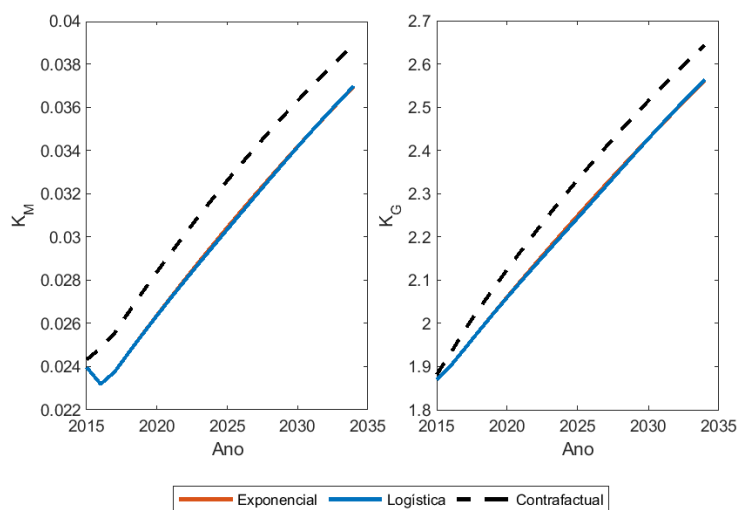
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 7 — Trajetórias de recuperação (2015-2034) — PIB com ajuste: Samarco em Retomada



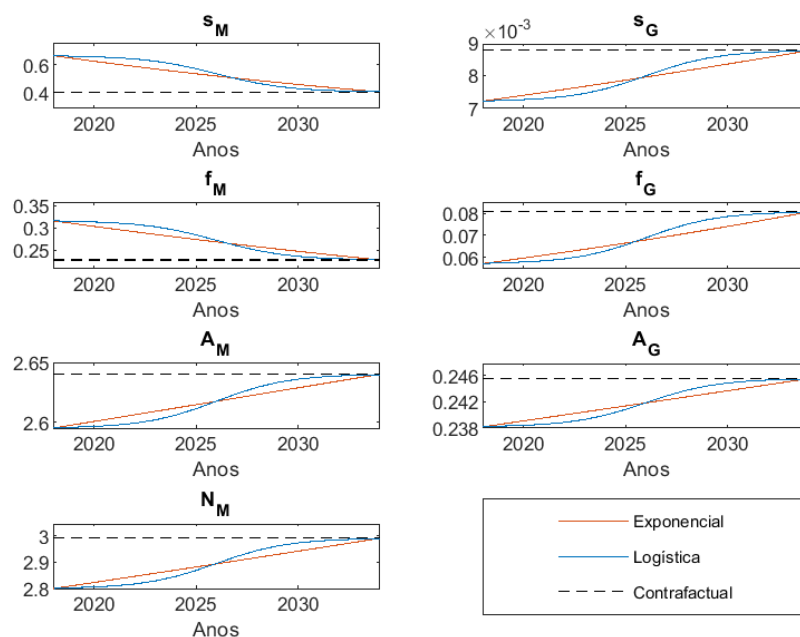
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 8 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2034) — PIB com ajuste: Samarco em Retomada



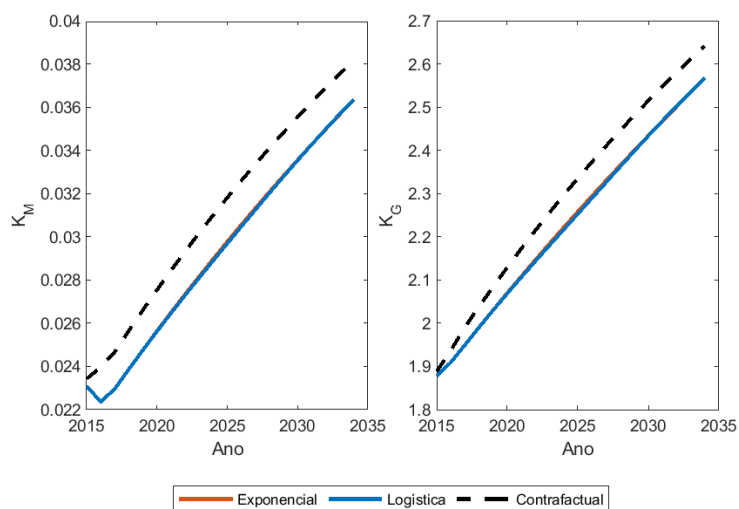
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 9 — Trajetórias de recuperação (2015-2034) — PIB sem ajuste: Samarco em Retomada



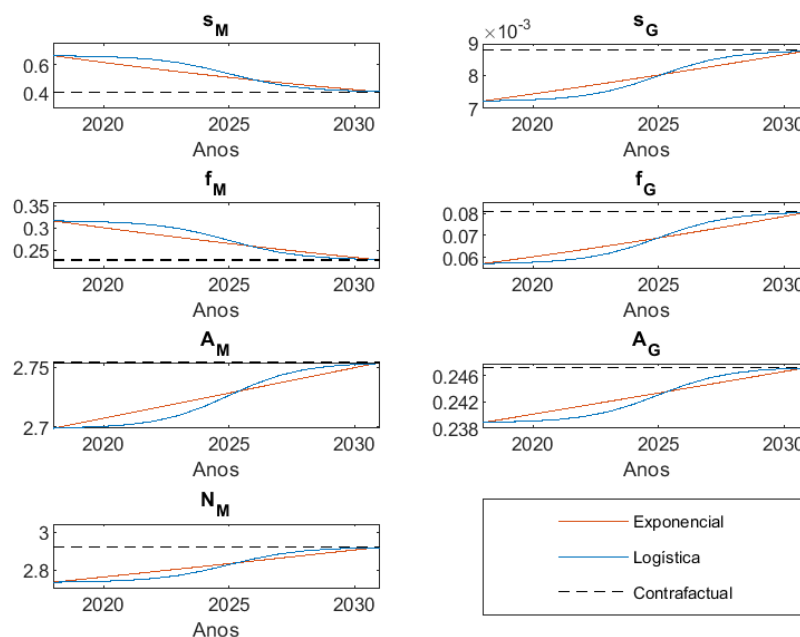
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 10 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2034) — PIB sem ajuste: Samarco em Retomada



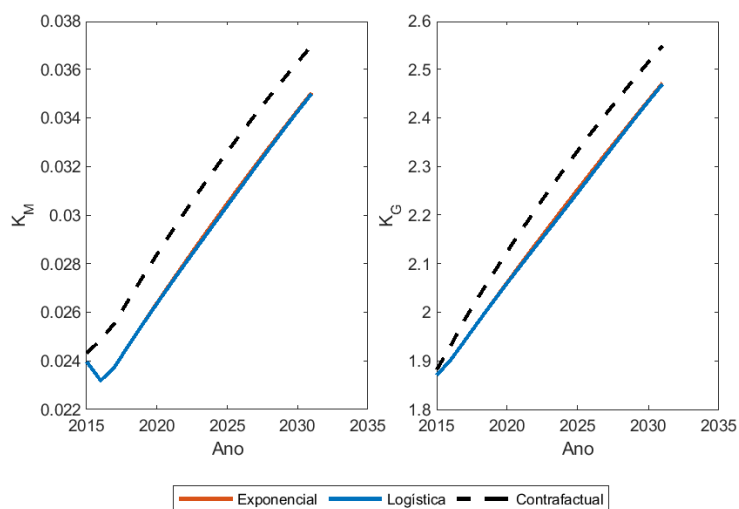
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 11 — Trajetórias de recuperação (2015-2031) — PIB com ajuste: Samarco em Retomada



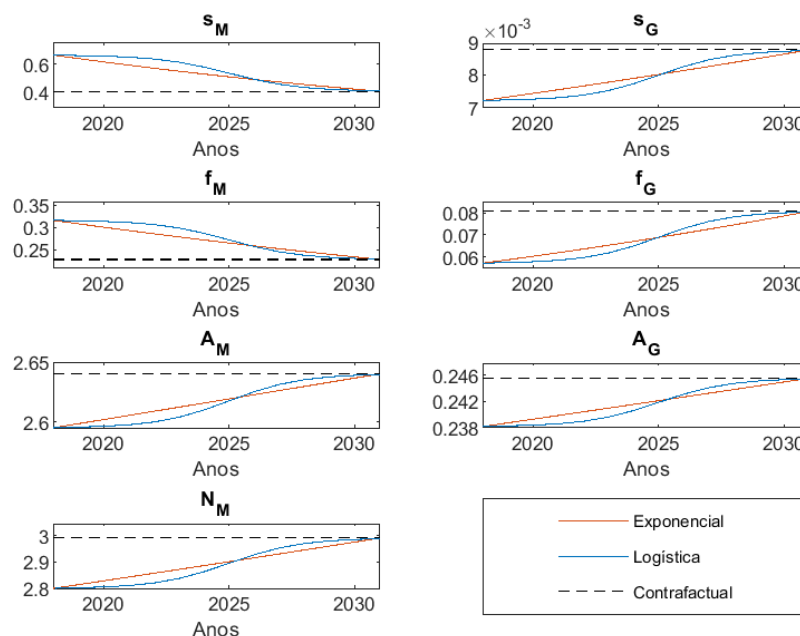
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 12 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2031) — PIB com ajuste: Samarco em Retomada



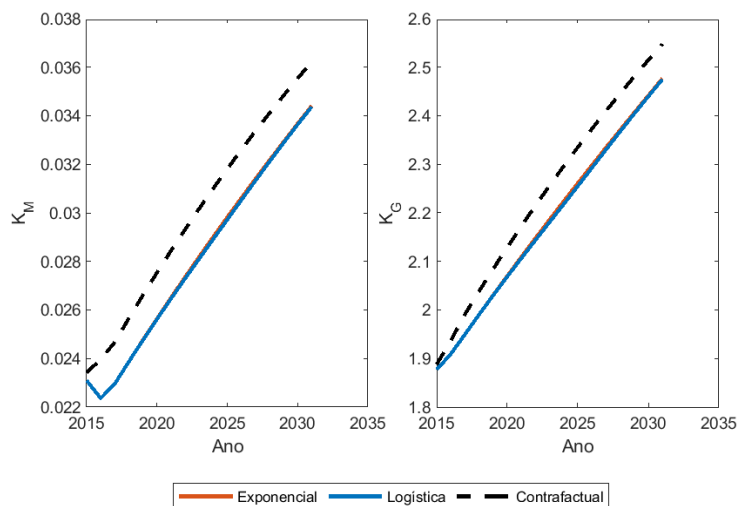
Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 13 — Trajetórias de recuperação (2015-2031) — PIB sem ajuste: Samarco em Retomada



Fonte: Elaboração própria (2021).

Gráfico 14 — Evolução dos estoques de capital físico (2015-2031) — PIB sem ajuste: Samarco em Retomada



Fonte: Elaboração própria (2021).

APÊNDICE B — Cálculo do VPL

Este apêndice apresenta o cálculo do valor presente líquido (VPL) obtido na tabela de perdas do PIB (Tabela 2, disponível na Subseção 2.2.4). Para o presente exercício, o VPL pode ser calculado por meio da fórmula:

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{Perda_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Em que:

- $Perda_t$ é o fluxo de caixa livre no instante t ;
- T é o número de períodos da análise; e
- r é a taxa de desconto utilizada.