

## CONTROLE SINTÉTICO COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Roberto Ellery Jr.<sup>1</sup>  
Antônio Nascimento Jr.<sup>2</sup>  
Adolfo Sachsida<sup>3</sup>

### RESUMO

O capítulo apresenta o método de grupo de controle sintético, a implementação do método no *software* R e oferece como exemplo uma avaliação preliminar do Programa de Substituição do Investimento (PSI). O método do controle sintético vem ganhando atenção de economistas aplicados por permitir a criação de um contrafactual, a unidade sintética, que permite tirar conclusões a respeito de como seria o desempenho da unidade tratada na ausência do tratamento. A avaliação preliminar do PSI sugere que o programa não teve efeito significativo no investimento.

**Palavras-chave:** avaliação; políticas públicas; controle sintético; PSI.

### ABSTRACT

The chapter presents the synthetic control group method, the implementation of the method in *software* R and provides as an example a preliminary evaluation of the Investment Replacement Program (Programa de Substituição do Investimento – PSI). The synthetic control method is becoming popular among applied economists by allowing the creation of a counterfactual, the synthetic unit, that allows to draw conclusions as to the performance of the unit treated in the absence of treatment. The preliminary PSI evaluation suggests that the program has had no significant effect on investment.

**Keywords:** evaluation; public policy; synthetic control; investment.

JEL: C53; E22; O25.

---

1. Professor-associado no Departamento de Economia da Universidade de Brasília (ECO/UnB). *E-mail:* <ellery@unb.br>.

2. Professor adjunto no Departamento de Administração (ADM) da UnB. *E-mail:* <anjunior@unb.br>.

3. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (Dirur) do Ipea. *E-mail:* <adolfo.sachsida@ipea.gov.br>. O autor agradece pela bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## 1 INTRODUÇÃO

A avaliação de políticas públicas tem se tornado cada vez mais constante em governos, organismos internacionais e outras instituições responsáveis por desenhar, implementar ou financiar políticas públicas. Tais avaliações buscam identificar como um conjunto de ações relacionadas a determinada política afeta a trajetória de variáveis de interesse. *Via de regra*, a estratégia é comparar a unidade-alvo da política (família, empresa, cidade, estado, região, país etc.) com outras unidades não afetadas pela política, ou comparar a unidade antes e depois da política, ou, ainda, combinações da comparação no tempo e entre outras unidades.<sup>4</sup>

Tais comparações nem sempre são simples e, no caso de ciências sociais, costumam trazer várias armadilhas. A dificuldade de realizar experimentos aleatórios é um exemplo dos desafios enfrentados por cientistas sociais, inclusive economistas, para estabelecer qualquer tipo de relação de causalidade. Em alguns casos, é possível usar de experimentos aleatórios ou quase-experimentos. Kleven *et al.* (2011) usam cerca de 40 mil declarações de Imposto de Renda (IR) para avaliar se a correspondência do órgão fiscal alertando sobre possibilidade de auditoria tem impacto na evasão. Para isso, eles usaram um experimento realizado na Dinamarca, onde o órgão fiscalizador enviou cartas alertando sobre a possibilidade de auditoria para contribuintes selecionados aleatoriamente. A conclusão é que tais cartas surtem efeito na redução da sonegação.

Em alguns casos, mesmo na falta de experimento aleatório e de grande número de unidades de comparação, não há como conseguir 40 mil municípios para avaliar uma política pública a nível municipal. É possível usar de técnicas econométricas para estimar a relação de causalidade entre a política e os resultados observados. Entre essas técnicas, a mais popular é a de diferenças em diferenças, que tenta excluir efeitos comuns do tempo e das unidades por meio da diferença entre unidades e no tempo. Um exemplo de avaliação de políticas públicas com técnicas econométricas que usam diferenças pode ser encontrado em Card e Krueger (1994), em que os autores comparam empregos e salários em cadeias de *fast-food* em New Jersey e na Filadélfia antes e depois do aumento de salário mínimo em New Jersey para avaliar como tal aumento afetou o mercado de trabalho. Os autores não encontram evidências de que o aumento no salário mínimo levou a um aumento no desemprego. Outro exemplo está em Dufflo, Hanna e Ryan (2012). Nesse artigo os autores testam se monitoramento e incentivos salariais reduzem a ausência de professores em escolas na Índia; no caso, o tratamento levou a uma queda nas faltas dos professores.

---

4. Para uma discussão a respeito de várias técnicas econométricas usadas em avaliações de políticas públicas, ver Imbens e Wooldridge (2009).

Em alguns casos o uso de técnicas de comparação de diferenças pode ser dificultado por conta de um pequeno número de unidades tratadas e/ou de comparação. Considere o caso de avaliar uma política implementada em um determinado estado. Especificamente suponha que, em 2013, um governador tenha criado um programa para incentivar os consumidores a pedir nota fiscal com mais frequência e um analista queira saber se o programa surtiu efeito. Comparar antes e depois pode ser um problema. Como sabemos, em 2014 o país entrou em uma crise, e é natural que tenha ocorrido uma queda na arrecadação. É muito provável que a arrecadação tenha caído mesmo que o programa tenha sido bem-sucedido. Esse é um típico problema de avaliação de causalidade. Não desejamos comparar a arrecadação antes e depois do programa, o que desejamos é comparar a arrecadação com o programa e sem ele. Infelizmente não temos acesso a realidades paralelas; tudo que podemos observar é a realidade do estado com o programa, de forma que a comparação que desejamos não é possível.

Uma alternativa é comparar a arrecadação no estado com a arrecadação de um estado muito parecido. Esta estratégia tem duas dificuldades principais: quais dimensões usar para determinar se dois estados são parecidos e como evitar peculiaridades do estado escolhido. Abadie e Gardeazabal (2003) estavam com um problema semelhante: queriam avaliar o impacto do terrorismo no país Basco, uma das regiões da Espanha. No começo da década de 1970 o país Basco era uma das regiões mais ricas da Espanha, mas por essa época começou uma onda de terrorismo que durou até o final da década de 1990. Após trinta anos de terrorismo o país Basco tornou-se a sexta região mais pobre da Espanha. A questão é determinar quanto dessa queda foi devida ao terrorismo. Uma comparação do tipo antes e depois pode ser contaminada pela recessão que atingiu a Espanha durante a década de 1970. Uma comparação com outras regiões pode ignorar fatores que poderiam fazer com que essas regiões crescessem mais do que o país Basco mesmo sem terrorismo, ou seja, a comparação com outras regiões refletiria os efeitos do terrorismo e de outras condições preexistentes que poderiam levar a crescimentos diferentes entre o resto da Espanha e o país Basco. A solução encontrada pelos autores foi usar as regiões da Espanha para criar uma versão sintética do país Basco e comparar os dados observados para esse país com os dados simulados para a versão sintética. Essa técnica ficou conhecida como grupo de controle sintético e é o objeto de estudo deste capítulo.

Na próxima seção será feita uma apresentação da metodologia usada para criar grupos sintéticos. Na seção 3 serão discutidos alguns exemplos de uso de grupos sintéticos para avaliar políticas públicas. Na seção 4 será feito um exercício para avaliação do Programa de Substituição do Investimento (PSI), e na seção 5 serão apresentadas as considerações finais.

## 2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

O método de controle sintético, apresentado por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010; 2011), tenta resolver o problema do contrafactual comparando a tendência na região atingida pelo choque ou pela política com a tendência em uma região sintética composta a partir de diversas regiões observadas. Na definição em Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), a unidade de controle sintético é uma média ponderada das unidades de controle disponíveis que melhor aproxima as características, inclusive de tendência, da variável tratada antes do tratamento.

A apresentação formal do método pode ser encontrada em Abadie, Diamond e Hainmueller (2011). Considere que são observadas  $j = 1, 2, \dots, j + 1$  unidades nos períodos  $t = 1, 2, \dots, T$ , e que a primeira unidade tenha sido submetida a uma determinada intervenção, de forma que as demais unidades serão usadas para formar o controle sintético. Defina  $Y_{it}^N$  como os valores da variável de interesse para unidade  $i$  no período  $t$  caso a unidade não tivesse sido submetida à intervenção, e  $Y_{it}^I$  caso a unidade tenha sofrido a intervenção. A unidade sintética deve ser capaz de reproduzir a unidade que será tratada não apenas na variável de interesse, mas em um conjunto de variáveis relevantes. Seja  $U_i$  um vetor  $r \times 1$  de variáveis relevantes observadas para cada unidade, defina também o vetor  $K = (K_1, \dots, K_{T_0})$ , onde  $T_0$  é o período anterior à intervenção, como pesos de uma combinação linear para variável relevante antes da intervenção para as várias unidades  $\bar{Y}_i^K = \sum_{s=1}^{T_0} k_s Y_{is}$ . Estas combinações podem ser usadas para controlar por características cujos efeitos variam ao longo do tempo.

Para construir a unidade de controle sintético é preciso criar um vetor ( $j \times 1$ ) de pesos  $W = (w_2, \dots, w_j = 1)$  com  $w_j \geq 0$  e  $\sum_{j=2}^{J+1} w_j = 1$ , onde cada elemento do vetor representa o peso de uma unidade de controle observada. Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2011) propõem escolher o vetor de pesos  $W^*$ , tal que a unidade sintética de controle obtida melhor aproxime a unidade que passou pela intervenção com respeito a  $U_i$  e  $M \leq T_0$  combinações lineares para variável de interesse antes da intervenção. Formalmente,  $W^*$  é tal que  $\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* \bar{Y}_j^{K_1} \approx \bar{Y}_1^{K_1} \dots \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* \bar{Y}_j^{K_M} \approx \bar{Y}_1^{K_M}$  e  $\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* U_j \approx U_1$ . Então:

$$\hat{\alpha}_{1t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt}$$

é o estimador de  $\alpha_{1t}$  nos períodos posteriores à intervenção.

Para implementar o estimador de controle sintético numericamente, é preciso definir uma distância entre a unidade de controle sintético e a unidade tratada. Para isso, basta agregar as características da unidade tratada na matriz  $X_1 = (U_1', \bar{Y}_1^{K_1}, \dots, \bar{Y}_1^{K_M})_{k \times 1}$  e os valores das mesmas variáveis para as unidades

de controle em  $X_1 = (U_j', \bar{Y}_j^{K_1}, \dots, \bar{Y}_j^{K_M})_{k \times J}$ . O vetor de pesos é calculado de forma a minimizar:

$$\|X_1 - X_0W\|V = \sqrt{(X_1 - X_0W)'V(X_1 - X_0W)},$$

onde  $V_{k \times k}$  é simétrica positiva semidefinida. Abadie, Diamond e Hainmueller (2011) sugerem escolher  $V_{k \times k}$  como:

$$\operatorname{argmin}_{V \in \mathcal{V}} (Z_1 - Z_0W^*(V))'(Z_1 - Z_0W^*(V)),$$

onde  $\mathcal{V}$  é o conjunto de todas as matrizes diagonais positivas definidas.

No *software* R a solução do problema de otimização é feita pela função *synth()*, que pertence ao pacote com o mesmo nome. Abadie, Diamond e Hainmueller (2011) ilustram o uso do pacote *synth* do R para reproduzir os resultados em Abadie e Gardeazabal (2003). O primeiro passo é instalar o pacote e carregar a base de dados. Isso pode ser feito com os comandos:

```
library("Synth")
data("basque")
```

O comando *head(basque)* permite observar as primeiras linhas da base de dados. No texto de 2003 os autores usam treze variáveis explicativas. São elas:

- média da taxa de investimento entre 1964 e 1969 (*invest*);
- média entre 1964 e 1969 da fração da força de trabalho sem educação formal (*school.illit*), da fração da força de trabalho com educação primária (*school.prim*), com alguns anos de ginásio (*school.hight*) e que terminou o ginásio (*school.post.hight*);
- médias de 1961 a 1969 da participação na produção de seis setores industriais; o nome de cada uma é formado por “*sec.*” mais o nome do setor – por exemplo, *sec.industry* é a participação da indústria na produção total;
- médias de 1960 a 1960 do produto interno bruto (PIB) *per capita* medido em milhares de dólares de 1986 (*gdpcap*);
- densidade populacional em 1969 medida em pessoas por quilômetro quadrado (*popdens*).

Para obter estatísticas descritivas de cada variável, o leitor pode usar o comando *summary(basque)* no R.

Uma vez carregados os dados, é necessário arrumá-los de modo a obter as matrizes  $X_1$ ,  $X_0$ ,  $Z_1$  e  $Z_0$  descritas acima. No exemplo, a matriz  $X_1$  tem dimensão  $13 \times 1$  e contém os preditores para o país Basco; a matriz  $X_0$  tem dimensão  $13 \times 16$  e contém os preditores para as outras dezesseis regiões da Espanha; a matriz  $Z_1$  tem dimensão  $10 \times 1$  e contém os valores da variável independente para o país Basco nos dez períodos anteriores à intervenção que serão usados para realizar a otimização; e a matriz  $Z_0$  tem dimensão  $10 \times 16$  e contém a variável independente para as dezesseis regiões usadas para controle. A função `dataprep()` arruma os dados nas matrizes. O uso desta função não é obrigatório, mas é fortemente recomendado. Os comandos abaixo aplicam a função `dataprep()` nos dados usados em Abadie e Gardeazabal (2003):

```
dataprep.out <- dataprep(
  foo = basque,
  predictors = c("school.illit", "school.prim", "school.med",
    "school.high", "school.post.high", "invest"),
  predictors.op = "mean",
  time.predictors.prior = 1964:1969,
  special.predictors = list(
    list("gdpcap", 1960:1969, "mean"),
    list("sec.agriculture", seq(1961, 1969, 2), "mean"),
    list("sec.energy", seq(1961, 1969, 2), "mean"),
    list("sec.industry", seq(1961, 1969, 2), "mean"),
    list("sec.construction", seq(1961, 1969, 2), "mean"),
    list("sec.services.venta", seq(1961, 1969, 2), "mean"),
    list("sec.services.nonventa", seq(1961, 1969, 2), "mean"),
    list("popdens", 1969, "mean")),
  dependent = "gdpcap",
  unit.variable = "regionno",
  unit.names.variable = "regionname",
  time.variable = "year",
  treatment.identifier = 17,
  controls.identifier = c(2:16, 18),
  time.optimize.ssr = 1960:1969,
  time.plot = 1955:1997).
```

O argumento *foo* tem como valor o nome do *data.frame* em que estão os dados; *predictors* define as variáveis que serão usadas no modelo de predição; *predictors.op* define o método que será usado nas variáveis usadas no modelo; *time.predictors.prior* define o período anterior ao tratamento; *special.predictors* uma lista com preditores adicionais com o período anterior ao tratamento e a operação realizada; *dependent* define a variável de interesse para previsão; *unit.variable* define a coluna em que estão as unidades (no caso as regiões da Espanha); *unit.names.variables* define a coluna em que estão os nomes das unidades; *time.variable* define a coluna em que estão os períodos antes e depois do tratamento; *treatment.identifier* define a unidade em que foi aplicado o tratamento; *controls.identifier* define as unidades de controle; *time.optimize.ssr* define o período que será usado para otimização na construção do grupo sintético; e *time.plot* define o período que será usado para elaboração dos gráficos comprando os valores observados da variável dependente na unidade tratada e no grupo sintético.

Após aplicar os comandos acima, é possível verificar as matrizes  $X_1$ ,  $X_0$ ,  $Z_1$  e  $Z_0$  usando *dataprep.out\$X1*, *dataprep.out\$X0*, *dataprep.out\$Z1* e *dataprep.out\$Z0*, respectivamente. Algumas vezes é desejável manipular os dados nas matrizes  $X_1$ ,  $X_0$ ,  $Z_1$  e  $Z_0$  se retornar à base de dados. Isso é possível usando comandos básicos do R. Abadie e Gardeazabal (2003) consolidam os dois maiores níveis de educação e representam o percentual de cada preditor no total. Os comandos a seguir fazem essas transformações:

```

dataprep.out$X1["school.high",] <- dataprep.out$X1["school.high",] +
  dataprep.out$X1["school.post.high",]
dataprep.out$X1 <- as.matrix(dataprep.out$X1[
  -which(rownames(dataprep.out$X1) == "school.post.high"),])
dataprep.out$X0["school.high",] <- dataprep.out$X0["school.high",] +
  dataprep.out$X0["school.post.high",]
dataprep.out$X0 <- dataprep.out$X0[
  -which(rownames(dataprep.out$X0) == "school.post.high"),]
lowest <- which(rownames(dataprep.out$X0) == "school.illit")
highest <- which(rownames(dataprep.out$X0) == "school.high")
dataprep.out$X1[lowest:highest,] <-
  (100 * dataprep.out$X1[lowest:highest,]) /
  sum(dataprep.out$X1[lowest:highest,])

```

```

dataprep.out$XO[lowest:highest,] <-
  100 * scale(dataprep.out$XO[lowest:highest,], center = FALSE,
             scale = colSums(dataprep.out$XO[lowest:highest,])).

```

Para calcular o grupo sintético, ou seja, para resolver o problema de minimização, basta usar a função *synth()* com os argumentos na forma:

```

synth.out <- synth(data.prep.obj = dataprep.out, method = "BFGS").

```

O método BFGS é um algoritmo do tipo quase-Newton. Para outros métodos de otimização, consultar a descrição da função (*?synth*).

Os resultados podem ser vistos por meio de tabelas ou de gráficos. A função *synth.tab()* prepara as tabelas, a função *path.plot()* faz o gráfico comparando o grupo sintético com os dados observados para unidade de tratada, e a função *gaps.plot()* faz o gráfico da diferença entre o grupo sintético e a unidade tratada. Por exemplo, os comandos a seguir criam a tabela 1:

```

synth.tables <- synth.tab(dataprep.res = dataprep.out,
                          synth.res = synth.out)
synth.tables$tab.pred.

```

TABELA 1  
Valores médios dos preditores no país Basco, no grupo sintético e média amostral

Variáveis	País Basco	Grupo sintético	Média amostral
<i>school.lillit</i>	3,321	7,645	10,983
<i>school.prim</i>	85,893	82,285	80,911
<i>school.med</i>	7,522	6,965	5,427
<i>school.high</i>	3,264	3,105	2,679
<i>invest</i>	24,647	21,583	21,424

Elaboração dos autores.

A tabela é útil para avaliar as semelhanças entre a unidade tratada e o grupo sintético. Repare que em todos os casos o grupo sintético aproximou-se mais do país Basco do que a média amostral. No caso de ausência de educação formal, o grupo sintético superestima o observado no país Basco, mas a média amostral é ainda maior que no grupo sintético.

Também é possível criar tabelas mostrando o peso de cada unidade de controle no grupo sintético. O comando a seguir cria os dados da tabela 2:

*synth.tables\$tab.w.*

TABELA 2  
**Peso de cada região da Espanha na formação do país Basco sintético**

Região	Peso no grupo sintético
Andaluzia	0,000
Aragão	0,000
Astúrias	0,000
Baleares	0,000
Ilhas Canárias	0,000
Cantábria	0,000
Castela e Leão	0,000
Castela-Mancha	0,000
Catalunha	0,851
Comunidade Valenciana	0,000
Estremadura	0,000
Galiza	0,000
Comunidade Autônoma de Madrid	0,149
Região de Murcia	0,000
Navarra	0,000
La Rioja	0,000

Elaboração dos autores.

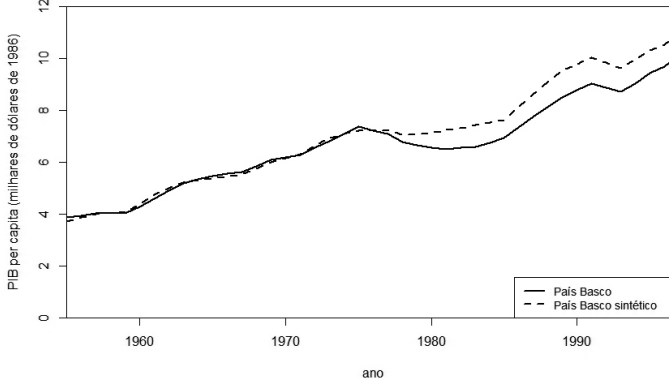
O uso de figuras também ajuda a avaliar o desempenho do grupo sintético. Os comandos a seguir criam o gráfico 1. Repare que até o começo da onda de terrorismo o PIB *per capita* do país Basco é muito parecido com o do país Basco sintético. Após a intervenção ocorre uma separação; como o país Basco sintético não foi alvo de terrorismo, o PIB *per capita* cresce mais do que o do país Basco. Essa diferença pode ser resultado do terrorismo.

```
path.plot(synth.res = synth.out, dataprep.res = dataprep.out,
          Ylab = "PIB per capita (milhares de dólares de 1986)", Xlab = "ano",
          Ylim = c(0, 12), Legend = c("País Basco",
          "País Basco sintético"), Legend.position = "bottomright").
```

GRÁFICO 1

**PIB per capita no país Basco e no país Basco sintético**

(Em US\$ milhares de 1986)



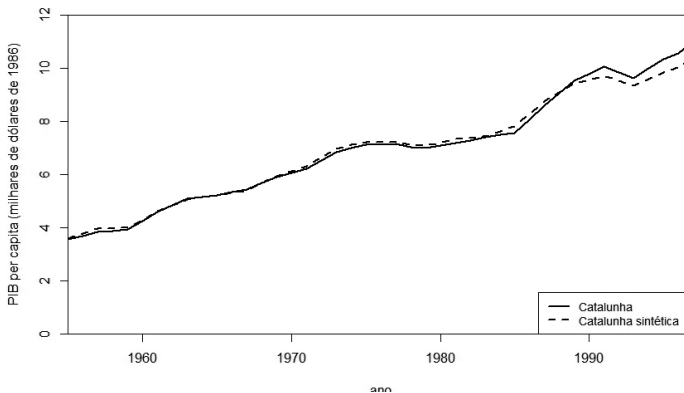
Fonte: Abadie, Diamond e Hainmueller (2011).

Em algumas situações, é recomendável que sejam feitos testes de placebo. Abadie, Diamond e Hainmueller (2011) fazem um teste de placebo usando a região da Catalunha. Como não houve intervenção na Catalunha, não é de se esperar um comportamento do grupo sintético nos moldes vistos no gráfico 1. Para fazer o exercício, basta substituir dezessete por dez no argumento *treatment.identifier* da função *dataprep.out()* e fazer o ajuste correspondente no argumento *controls.identifier* que agora deve ter *c(2:9,11:16,18)* no lugar de *c(2:16, 18)*.<sup>5</sup> Feitas as modificações, basta executar novamente os comandos acima para obter o gráfico 2.

GRÁFICO 2

**PIB per capita na Catalunha e na Catalunha sintética**

(Em US\$ milhares de 1986)



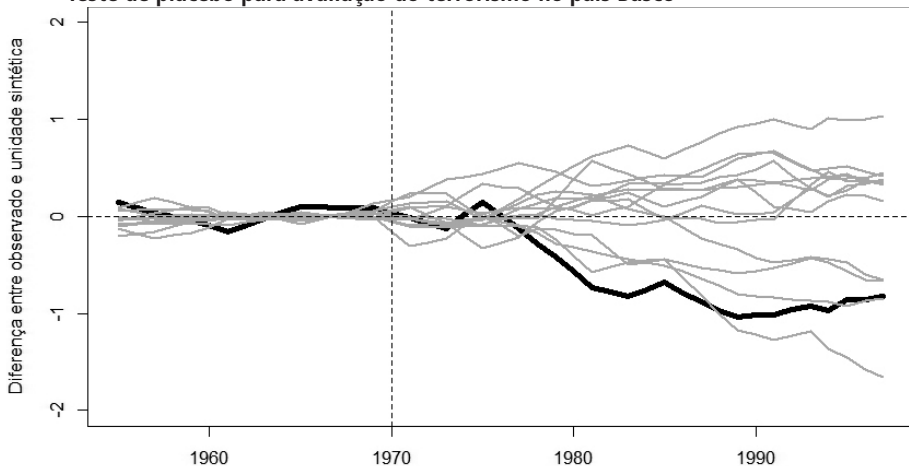
Fonte: Abadie, Diamond e Hainmueller (2011).

5. Isso ocorre porque o país Basco é a região de número dezessete na base de dados, e a Catalunha é a região de número dez.

Testes de placebo também podem ser realizados modificando a data da intervenção ou realizando exercício semelhante ao feito para Catalunha com várias regiões e comparando os resultados. O teste de placebo que tem sido usado com frequência é discutido em Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) e consiste em criar grupos sintéticos para cada uma das unidades e comparar a diferença entre a unidade sintética e a unidade observada em todas as unidades. Depois é feita uma comparação entre a diferença calculada na unidade de interesse e nas outras unidades para saber se a diferença encontrada na unidade de interesse ocorre devido ao acaso ou devido à intervenção sofrida pela unidade de interesse.

O gráfico 3 mostra o teste de placebo por meio das diferenças para o terrorismo no país Basco.<sup>6</sup> Seguindo Abadie, Diamond e Hainmueller (2010; 2011), foram retiradas as regiões que não foram bem reproduzidas pelo modelo no período anterior ao choque; especificamente, foram retiradas as regiões com MSPEs<sup>7</sup> maiores que cinco vezes os MSPEs encontrados para o país Basco.

GRÁFICO 3  
 Teste de placebo para avaliação do terrorismo no país Basco



Fonte: Abadie, Diamond e Hainmueller (2011).

Como observado no gráfico 3, a chance de a diferença entre o país Basco e o país Basco sintético ser devida ao acaso é muito baixa. De todas as regiões usadas no teste apenas uma apresentou um desvio maior que o do país Basco. Na sequência de Abadie e Gardeazabal (2003), vários outros estudos usaram grupos de controle sintéticos para avaliar intervenções na economia. A próxima seção comenta alguns desses estudos.

6. O gráfico 3, bem como os dois anteriores, reproduzem figuras encontradas em Abadie, Diamond e Hainmueller (2011).  
 7. O MSPE é uma medida usada para realizar a otimização e aparece nos resultados da função *synth()*.

### 3 APLICAÇÕES DO MÉTODO DE CONTROLE SINTÉTICO

Existem várias aplicações do método de controle sintético para avaliar os efeitos de choques e políticas públicas na economia. Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) usam o método de controle sintético para avaliar os efeitos da Proposição 99, uma medida contra o uso de tabaco no consumo de cigarros na Califórnia. A Proposição 99 aumentava o imposto sobre cigarros em US\$ 0,25 por pacote e direcionava a receita obtida para saúde, educação e propaganda contra o fumo, e medidas para garantir ambientes livres de cigarro. A avaliação dos impactos da proposição por meio de séries de tempo é prejudicada pelo fato de que o consumo de cigarros na Califórnia vinha caindo antes da aprovação da medida; desta forma, fica difícil estimar quanto da queda posterior à adoção da Proposição 99 foi devida aos fatores que já vinham reduzindo o consumo de cigarros e quanto desta queda foi devida à proposição. Comparar com outros estados também é complicado. O consumo de cigarros estava em queda em todo os Estados Unidos, desta forma seria preciso identificar quanto da queda na Califórnia decorria de fatores presentes em todos os estados e quanto era devido apenas à política adotada na Califórnia.

O grupo sintético permite controlar pelas duas questões. Ao criar uma versão sintética da Califórnia que não adotou a Proposição 99, é possível avaliar a diferença entre o consumo de cigarros na Califórnia observada e na Califórnia sintética como efeito da Proposição 99. Para criar o grupo sintético, Abadie, Diamond e Hainmueller (2011) usam um painel com dados para os estados americanos compreendendo o período entre 1970 e 2000. Como a Proposição 99 foi aprovada em novembro de 1988 e entrou em vigor em janeiro de 1989, o período pré-intervenção, que será utilizado para a otimização, foi de dezenove anos. As variáveis utilizadas foram: consumo *per capita* de cigarros, preço médio do pacote de cigarros, renda *per capita*, fração da população entre 15 e 24 anos e consumo *per capita* de cerveja. Para construção do grupo sintético foram excluídos da amostra os estados que adotaram medidas fortes contra o consumo de cigarros no mesmo período.

O grupo sintético aproxima de forma adequada o consumo de cigarros na Califórnia entre 1970 e 1989, sugerindo que teria aproximado o consumo de forma adequada se a Proposição 99 não tivesse sido implementada. A partir de 1989, com a Proposição 99 em vigência, o consumo de cigarros na Califórnia descola do consumo na unidade sintética, apresentando uma tendência de queda maior do que a observada antes de 1989. Na média entre 1989 e 2000 o consumo de cigarros ficou abaixo do previsto pelo grupo sintético em aproximadamente vinte maços de cigarro por pessoa, uma queda de cerca de 25%. Aceitando a ideia de que a diferença entre o grupo sintético e o observado na Califórnia foi causada pela Proposição 99, podemos afirmar que a adoção da proposição causou uma queda de 25% no consumo de cigarros *per capita*.

A robustez do procedimento foi avaliada por testes de placebos. Os autores criaram grupos sintéticos para os 38 estados restantes na amostra e compararam o desvio entre o estimado e o observado em cada um dos estados. Na sequência foram feitos refinamentos no grupo de comparação até que ficassem 29 estados. Foram encontrados desvios positivos e negativos, ou seja, em alguns estados o consumo de cigarros aumentou em relação ao previsto após 1989, e, na última amostra, a Califórnia apresentou o desvio negativo mais intenso. Os autores concluem que o método do grupo de controle sintético permitiu mostrar que os efeitos da Proposição 99 foram maiores do que os encontrados com outros métodos, e que a probabilidade de encontrar o mesmo efeito encontrado na Califórnia por conta do acaso é de 0,026%.

Carrasco, Mello e Duarte (2014) usaram o método do grupo de controle sintético para avaliar o desempenho da economia brasileira entre 2003 e 2012. Comparações do tipo antes e depois mostram que houve um aumento significativo do crescimento no Brasil no início da primeira década do século XXI, o aumento do crescimento foi acompanhado de melhora em outros indicadores econômicos. A questão é saber se esse crescimento decorreu de políticas aplicadas no Brasil ou se foi devido a outros fatores, como, por exemplo, a melhora nos termos de troca por conta do aumento dos preços das *commodities*. Uma estratégia é comparar o crescimento do Brasil com o de outros países emergentes; em média os países emergentes cresceram mais do que o Brasil entre 2003 e 2012, mas isso pode ter várias explicações. Teoria básica de crescimento econômico sugere que países com menor PIB *per capita* tendem a crescer mais; como o PIB *per capita* brasileiro é maior do que a média dos emergentes, é razoável que o Brasil cresça menos do que a média dos emergentes. Assim como no caso do terrorismo no país Basco e da Proposição 99 na Califórnia, comparações com outras unidades e comparações do tipo antes e depois podem ser contaminadas por outros fatores. Mais uma vez o uso de grupos sintéticos ajuda a resolver o problema.

Para criar o Brasil sintético os autores utilizaram uma série de variáveis obtidas em três bases de dados: World Development Indicators (WDI), do Banco Mundial; World Economic Outlook (WEO), do Fundo Monetário Internacional (FMI); e World Economic Survey (WES), do Ifo Institute for Economic Research.<sup>8</sup> A maioria das estimativas foi feita a partir de um grupo de dezenove países emergentes: Bulgária, Chile, China, Colômbia, Hungria, Indonésia, Índia, Lituânia, México, Malásia, Paquistão, Peru, Filipinas, Polônia, Tailândia, Turquia, Ucrânia, Venezuela e África do Sul. Por problemas relacionados à disponibilidade ou à confiança dos dados, Argentina, Estônia, Letônia, Rússia e Romênia ficaram de fora da amostra.

---

8. A descrição das variáveis encontra-se no apêndice B de Carrasco, Mello e Duarte (2017).

A comparação com o grupo sintético permitiu concluir que o Brasil cresceu, poupou e investiu menos do que o esperado; recebeu menos investimento estrangeiro direto e teve menos crescimento industrial do que a unidade sintética; teve inflação mais alta do que o Brasil sintético; perdeu competitividade, teve menor crescimento de produtividade, a qualidade regulatória piorou e os avanços em pesquisa e desenvolvimento foram menores do que os da unidade sintética; menor avanço de escolaridade mesmo com maior crescimento dos gastos; redução de indicadores de pobreza compatíveis, porém menor do que no Brasil sintético. Apenas os avanços na saúde andaram junto com o esperado. A conclusão dos autores, obtida com uso de grupos sintético, foi que, ao contrário da percepção geral, o período entre 2003 e 2012 não testemunhou um bom desempenho da economia brasileira, daí o título do artigo referir-se a este período como década desperdiçada.

Um outro estudo em que grupos sintéticos são usados para avaliar a desempenho de um país está em Uhr, Uhr e Ely (2017). No artigo os autores usam do método para avaliar os efeitos da transição democrática no Chile. Em 1973 o general Augusto Pinochet liderou um golpe militar e iniciou uma ditadura no Chile que durou até o final da década de 1980. A transição para democracia começou em 1988 e, em março de 1990, após um plebiscito no qual a continuidade do governo Pinochet foi derrotada, o presidente Patricio Aylwin inicia o primeiro governo democrático do Chile desde o golpe de 1973. Assim como nos casos anteriores, a comparação do tipo antes e depois pode ser prejudicada por mudanças gerais na economia mundial e mudanças significativas na América Latina. De fato, na década de 1990 vários países da América Latina começaram o processo de recuperação da crise que atingiu o continente na década de 1980.

As estimações do grupo sintético foram realizadas a partir de quatro grupos de unidade de controle: países ocidentais, Américas, Américas excluindo os Estados Unidos e América Latina e Caribe. Os quatro “Chiles sintéticos” obtidos a partir de cada um dos grupos de unidades de controle apresentaram crescimento do PIB *per capita* bem inferior ao observado no Chile. A partir daí os autores concluem que a democratização trouxe ganhos de crescimento para o Chile. A conclusão é reforçada com testes de placebo na linha de Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) que concluem que a probabilidade de o resultado encontrado ser devido ao acaso é baixa.

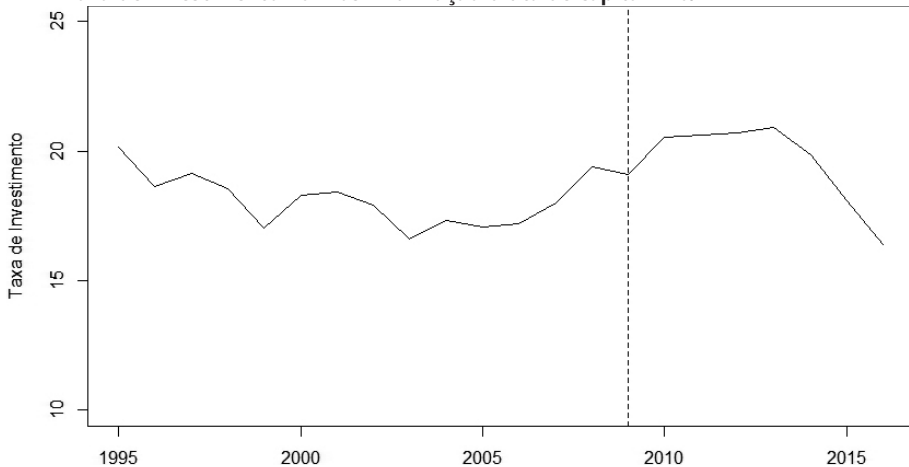
#### 4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO: AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO PSI

Em 2009, como resposta à crise financeira de 2008, o governo brasileiro lançou o PSI com o objetivo de recuperar a taxa de investimento da economia brasileira. O programa trabalhava com um diferencial equalizado de taxas de juros, ou seja, o BNDES emprestava os recursos a uma taxa inferior a que o Tesouro captava no mercado, e a diferença era paga pelo próprio Tesouro. Essa equalização consistia em um subsídio explícito que, mais tarde, seria usado para criticar o PSI.

Em um primeiro momento o PSI parecia ter conseguido o objetivo de recuperar a taxa de investimento. Como pode ser visto no gráfico 4, a queda da taxa de investimento ocorrida entre 2008 e 2009 é recuperada já em 2009, alcançando patamares maiores do que o do período anterior à crise, já em 2010. A percepção de sucesso fez com que o PSI fosse continuado até 2015, quando finalmente foi encerrado.

GRÁFICO 4

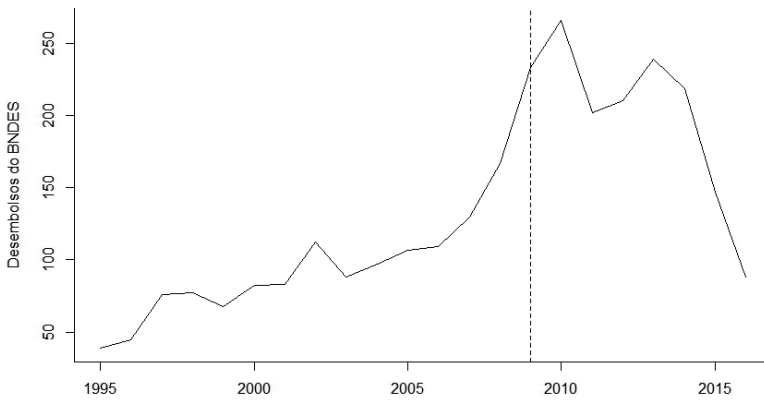
Taxa de investimento no Brasil: formação bruta de capital fixo/PIB



Fonte: WDI/Banco Mundial.

O aparente sucesso do PSI não apenas prolongou o programa como trouxe mais recursos para o BNDES e para o PSI. Os desembolsos do BNDES reforçaram a tendência de crescimento que era observada desde meados da década passada. O gráfico 5 ilustra esse fenômeno.

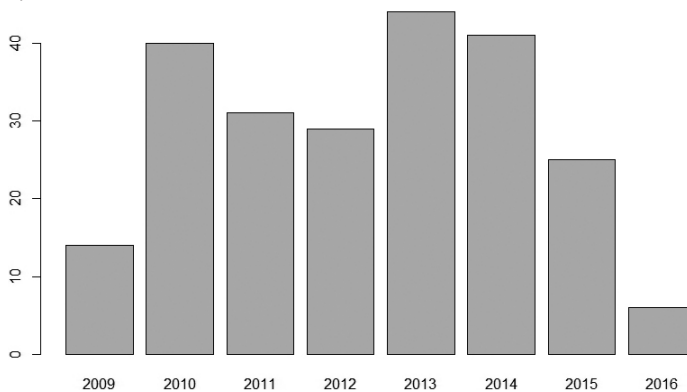
**GRÁFICO 5**  
**Desembolsos do BNDES**  
 (Em R\$ milhões de 2016)



Fonte: BNDES.

As operações equalizadas, com destaque para o PSI, crescem em relação aos desembolsos do banco, chegando a representar 44% do total em 2013. O gráfico 6 mostra o ganho de importância das operações equalizadas como fração dos desembolsos do BNDES entre 2009 e 2016. Considerando todo o período essas operações corresponderam, em média, a 31% do valor das operações do banco. Segundo os dados da Secretaria Especial de Acompanhamento Econômico do Ministério da Fazenda (Seae/MF),<sup>9</sup> o gasto com subsídios no âmbito do PSI entre 2001 e 2016 foi de aproximadamente R\$ 45 bilhões em valores de 2016.

**GRÁFICO 6**  
**Operações do BNDES-PSI mais outras operações equalizadas como proporção das operações do BNDES**  
 (Em %)



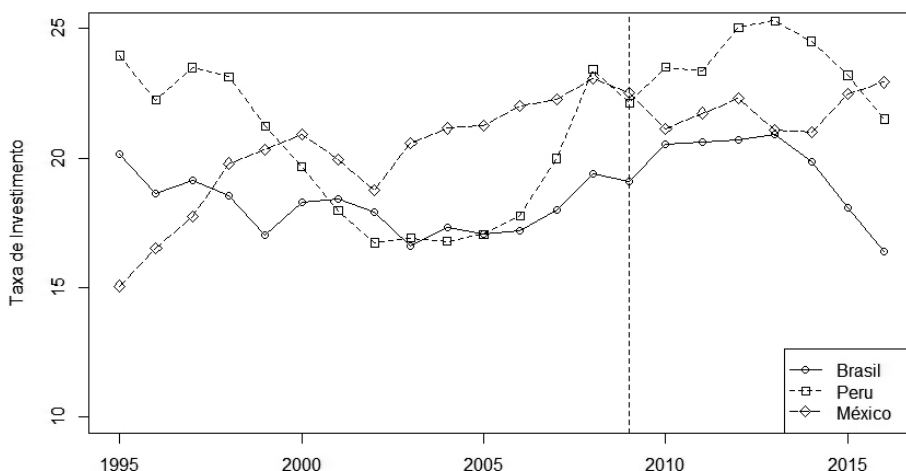
Fonte: BNDES.

9. Brasil (2017).

A questão que nos interessa é se a avaliação preliminar do PSI foi adequada. Especificamente queremos saber se o aumento da taxa de investimento em 2009 e 2010 foi causado pelo PSI. Como já foi discutido anteriormente, a comparação antes e depois pode não ser uma forma adequada de avaliar políticas públicas. É possível que outros efeitos causem a mudança observada na variável de interesse. O gráfico 7 mostra a taxa de investimento no Brasil, no México e no Peru entre 1995 e 2015. Se observamos o que aconteceu a partir de 2009, vemos que: no Peru, a taxa de investimento recuperou-se em 2009 de forma semelhante ao que ocorreu no Brasil; e no México a taxa de investimento ficou em baixa e só a partir de 2013 começou a trajetória de volta aos valores anteriores à crise.

GRÁFICO 7

Taxa de investimento no Brasil, no México e no Peru



Qual país dever ser usado como referência para o Brasil? Se for o Peru, podemos concluir que a recuperação da taxa de investimento não foi causada pelo PSI, afinal lá foi observada uma recuperação semelhante sem a presença do BNDES. Se for o México, podemos concluir que o PSI teve um papel importante na recuperação da taxa de investimento. Nos dois casos, porém, observa-se que não houve a forte queda da taxa de investimento que foi observada no Brasil a partir de 2013. Seria tal queda efeito do PSI? Algum outro país apresenta queda semelhante?

O grupo de controle sintético permite responder a essas questões. No lugar de comparar o Brasil com um determinado país, ou um conjunto de países, a comparação será feita entre o Brasil e uma combinação de países que reproduz características importantes da economia brasileira. Como o objetivo dessa seção é apresentar o método, e não fazer uma avaliação exaustiva do PSI, não será tomado o devido cuidado com a seleção do modelo de previsão. No lugar disso será proposto um modelo de forma *ad hoc* que tem como objetivo mostrar a construção do grupo sintético e o uso desse grupo para tirar conclusões a partir de comparações com os dados observados.

Para estimar o modelo foram usados dados do WDI/Banco Mundial e do WEO/FMI. O modelo teve como variáveis explicativas a taxa de crescimento, a participação da manufatura no PIB, o tempo para fazer valer contratos, a taxa de juros, a taxa de poupança, a dívida bruta como proporção do PIB e as rendas obtidas com recursos naturais como proporção do PIB. Com exceção do desemprego e da dívida bruta como proporção do PIB, que foram obtidas na base de dados do FMI, as variáveis são todas da base de dados do Banco Mundial. Para as unidades de controle foram escolhidos todos os países emergentes<sup>10</sup> com mais de 10 milhões de habitantes em 2010. Por limitação de dados alguns países foram retirados da amostra, de forma que os restantes foram: Argentina, Chile, China, Colômbia, Equador, Hungria, Indonésia, Sri Lanka, México, Malásia, Peru, Filipina, Polônia, Romênia e Tailândia. O período considerado vai de 1996 a 2015. Apesar de ter começado apenas no meio de 2009, o PSI já teve desembolsos significativos naquele ano, de forma que o período considerado como anterior à intervenção foi de 1996 a 2008.

A preparação dos dados foi feita com a função *dataprep()* do pacote *synth* do *software* R da seguinte forma:

```
dataprep.out <- dataprep(
  foo = dados1,
  predictors = c("cresc", "Manuf_PIB",
    "time.contracts", "juros",
    "TxPoup", "Div_PIB",
    "natural.resources.rents"),
  predictors.op = "mean",
  time.predictors.prior = 1996:2009,
  dependent = "TxInv.fixed",
  unit.variable = "cnt",
  unit.names.variable = "code.n",
  time.variable = "ano",
  treatment.identifier = 2,
  controls.identifier = c(1,3:16),
  time.optimize.ssr = 1996:2009,
  time.plot = 1996:2015).
```

10. Segundo a classificação do FMI: emergentes da Europa, emergentes da Ásia, América Latina e Caribe e Comunidade dos Estados Independentes (CEI).

Para calcular os pesos usados na construção do Brasil sintético foi usada a função *synth()* na forma:

```
synth.out <- synth(data.prep.obj = dataprep.out, method = "BFGS").
```

O processo de otimização gerou os pesos para a construção da unidade sintética, conforme descritos na tabela 3.

TABELA 3  
Pesos dos países no grupo sintético para a taxa de investimento no Brasil

País	Código	Peso no grupo sintético
Argentina	ARG	0,437
Chile	CHL	0,000
China	CHN	0,000
Colômbia	COL	0,000
Equador	ECU	0,423
Hungria	HUN	0,000
Indonésia	IDN	0,000
Sri Lanka	LKA	0,000
México	MEX	0,000
Malásia	MYS	0,140
Peru	PER	0,000
Filipinas	PHL	0,000
Polônia	POL	0,000
Romênia	ROU	0,000
Tailândia	THA	0,000

Elaboração dos autores.

O Brasil sintético reproduz de forma razoável as características do Brasil real, principalmente se considerarmos a forma *ad hoc* que o modelo foi escolhido. A tabela 4 mostra os valores médios de cada variável no Brasil sintético, no Brasil e a média da amostra de países. Repare que na maioria das variáveis os valores calculados para unidade sintética são mais próximos do observado no Brasil do que os valores das médias amostrais.

TABELA 4  
Valor médio das variáveis explicativas no Brasil, no Brasil sintético e média amostral

Variável	Brasil	Brasil sintético	Média amostral
Crescimento (%)	2,862	3,170	4,056
Manufatura/PIB (%)	15,709	18,104	21,674
Tempo para fazer valer um contrato (dias)	736,714	576,146	659,867
Taxa de juros (%)	48,728	14,648	7,155
Taxa de poupança (%)	18,256	21,041	24,579
Dívida/PIB (%)	68,330	47,583	43,107
Renda de recursos naturais/PIB (%)	3,214	6,572	4,409

Elaboração dos autores.

Finalmente, passemos à comparação da taxa de investimento no Brasil e no Brasil sintético. O gráfico 8 mostra as duas taxas de investimento. Repare que o Brasil sintético também apresenta uma recuperação da taxa de investimento a partir de 2009. Se o modelo for adequado para prever a taxa de investimento e a escolha dos países for tal que não tenha contaminação pelo PSI ou políticas similares, a conclusão é que o PSI não foi o responsável pela retomada do investimento em 2009 e 2010, e ainda pode ter atrapalhado o crescimento da taxa de investimento a partir de 2011.<sup>11</sup>

GRÁFICO 8  
Taxa de investimento no Brasil e no Brasil sintético



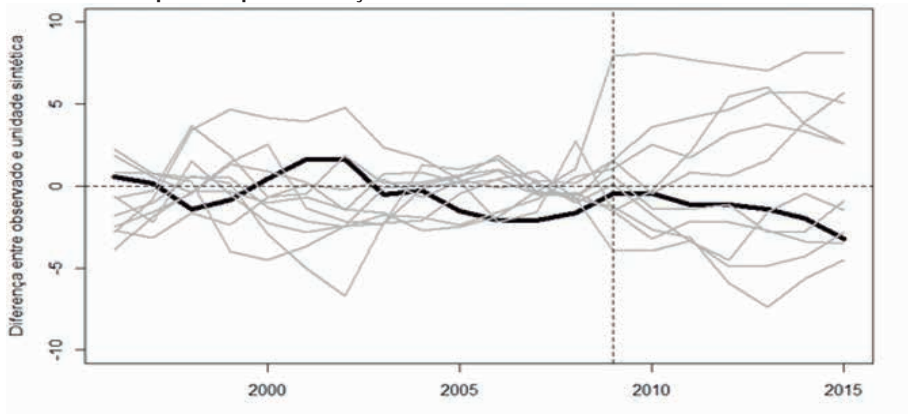
Elaboração dos autores.

11. Um dos autores está trabalhando em uma avaliação do PSI. Os resultados preliminares não são muito diferentes do apresentado no gráfico 7. Em alguns casos o PSI parece ter antecipado a recuperação que só viria a partir de 2011. Em todos os casos não foi possível replicar a queda brusca a partir de 2013, que sugere que tal queda decorre de políticas brasileiras, entre as quais o PSI merece destaque.

Uma dificuldade em avaliar a trajetória da taxa de investimento é a crise financeira de 2008. Como era de se esperar, a crise afetou a taxa de investimento em praticamente todos os países, de maneira que na maioria deles aparece um desvio em 2008 e 2009; desta forma, é de se esperar que nesses países a taxa observada fique abaixo da taxa prevista por vários anos.

Como discutido anteriormente, o teste de placebo é uma forma de avaliar se o efeito observado é devido ao acaso ou se decorre da política implementada. A maneira mais comum de aplicar o teste é calcular a diferença entre os dados observados para cada unidade e os dados da unidade sintética correspondente no período pós-tratamento. A partir daí é possível fazer inferência.<sup>12</sup>

GRÁFICO 9  
 Teste de placebo para avaliação do PSI



Elaboração dos autores.

No caso do PSI, o teste de placebo confirma a impressão de que o programa não teve efeito na taxa de investimento. Repare que no gráfico 9 a diferença entre o Brasil observado e o Brasil sintético mistura-se com as diferenças obtidas para outros países. Como comparação, no caso do país Basco, conforme Abadie, Diamond e Hainmueller (2011) e reproduzido na segunda seção deste capítulo, é possível ver claramente que a diferença entre unidade sintética e dados observados para o país Basco destaca-se em relação aos outros estados da amostra usada pelos autores.

12. Ver Abadie, Diamond e Hainmueller (2010).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo ilustrou, por meio de exemplo, como o método do grupo de controle sintético pode ser usado na avaliação de políticas públicas. O uso do método permite a construção do contrafactual em problemas em que esse não está disponível e o uso dos métodos tradicionais para comparar grupos de tratamento e controle não é factível. Menos do que um método para substituir outros que são usados na literatura, o controle sintético é uma forma de melhorar análises que seriam feitas apenas usando comparações entre unidades ou entre antes e depois da política. Desta forma, trata-se de ferramenta adequada para estudos de casos em economia, particularmente em questões macroeconômicas.

Apesar de conhecido desde 2003, nos últimos anos, especificamente a partir de Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), o método passou a ser mais utilizado. No Brasil temos o já comentado estudo de Carrasco, Mello e Duarte (2014), bem como um esforço de avaliar as políticas de intervenção cambial do Banco Central em Chamon, Garcia e Souza (2015), enquanto Resende (2017) usou do método para avaliar a privatização de aeroportos no Brasil.

Como o método é relativamente novo, é possível que variações apareçam nos próximos anos. Uma particularmente relevante foi proposta em Acemoglu *et al.* (2016). Em busca de avaliar os efeitos de informações sobre retorno de ações, os autores estudam como a informação de que Timothy Geithner seria nomeado secretário do Tesouro nos Estados Unidos e como notícias subsequentes dando conta de que a nomeação não ocorreria afetaram ações de empresas mais ou menos próximas a Geithner. Note que, nesse caso, em vez de uma unidade tratada, como aconteceu nos exemplos discutidos acima, existem várias unidades tratadas. A estratégia em Acemoglu *et al.* (*ibid.*) é separar as firmas em tratadas e não tratadas, e então fazer um grupo sintético para cada firma tratada para posteriormente usar a diferença entre o retorno de cada firma tratada e suas correspondentes firmas sintéticas para calcular o excesso de retorno. Testes de placebo são usados para fazer inferência.

## REFERÊNCIAS

ABADIE, Alberto; DIAMOND, Alexis; HAINMUELLER, Jes. Synthetic control methods for comparative cases studies: estimating the effects of California's Tobacco Control Program. **Journal of the American Statistical Association**, v. 105, n. 490, p. 493-505, 2010.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Synth: an R package for synthetic control methods in comparative case studies. **Journal of Statistical Software**, v. 43, n. 13, p. 1-17, 2011.

- ABADIE, Alberto; GARDEAZABAL, Javier. The economic costs of conflict: a case study of the Basque country. **American Economic Review**, v. 93, n. 1, p. 113-132, 2003.
- ACEMOGLU, Daron *et al.* The value of connections in turbulent times: evidence from the United States. **Journal of Financial Economics**, v. 121, p. 368-391, 2016.
- BRASIL. Ministério da Fazenda. Secretaria Especial de Acompanhamento Econômico. **Benefícios Financeiros e Creditícios da União**. Brasília: Seae/ME, 2017. (Nota Informativa).
- CARD, David; KRUEGER, Aan. Minimum wages and employment: a case study of the fast-food industry in New Jersey and Pennsylvania. **American Economic Review**, v. 84, n. 4, p. 772-793, 1994.
- CARRASCO, Vinicius; MELLO, João; DUARTE, Isabela. **A década perdida: 2003-2012**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2015. (Texto para Discussão, n. 626).
- CHAMON, Marcos; GARCIA, Marcio; SOUZA, Laura. **FX interventions in Brazil: a synthetic control approach**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2015. (Texto para Discussão, n. 630).
- DUFLO, Esther; HANNA, Rema; RYAN, Stephen. Incentives work: getting teachers to come to school. **American Economic Review**, v. 102, n. 4, p. 1241-1278, 2012.
- IMBENS, Guido; WOOLDRIDGE, Jeffrey. Recent developments in the econometrics of program evaluation. **Journal of Economic Literature**, v. 47, n. 1, p. 5-86, 2009.
- KLEVEN, Henrik Jacobsen *et al.* Unwilling or unable to cheat? Evidence from a tax audit experiment in Denmark. **Econometrica**, v. 79, n. 3, p. 651-692, 2011.
- RESENDE, Caio. Uma avaliação de impacto da política de privatização de aeroportos brasileira: uma abordagem por controle sintético. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA*, 45., 2017, Natal. **Anais...** Natal: Anpec, 2017.
- UHR, Daniel; UHR, Julia; ELY, Regis. A synthetic control approach on Chile's transition to democracy. **Economics Bulletin**, v. 37, n. 3, p. 1-16, 2017.

