

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Departamento de Economia
Programa de Pós-Graduação em Economia

Maria Eliúde Santos do Nascimento

**O Horário de Verão afeta o desempenho do aluno?
Evidência para o Brasil**

Recife
2020

Maria Eliúde Santos do Nascimento

**O Horário de Verão afeta o desempenho do aluno?
Evidência para o Brasil**

Dissertação submetida ao programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ramos Sampaio
Coorientador: Prof. Dr. Robson Tigre

Recife
2020

Catálogo na Fonte
Bibliotecária Ângela de Fátima Correia Simões, CRB4-773

N244h Nascimento, Maria Eliúde Santos do
O horário de verão afeta o desempenho do aluno? Evidência para o Brasil
/ Maria Eliúde Santos do Nascimento. - 2020.
25 folhas: il. 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ramos Sampaio e Coorientador Prof. Dr.
Robson Tigre.
Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de
Pernambuco, CCSA, 2020.
Inclui referências e apêndices.

1. Horário de verão. 2. ENEM. 3. Desempenho escolar. I. Sampaio,
Gustavo Ramos (Orientador). II. Tigre, Robson (Coorientador). III. Título.

336 CDD (22. ed.) UFPE (CSA 2021 – 080)

MARIA ELIÚDE SANTOS DO NASCIMENTO

**O HORÁRIO DE VERÃO AFETA O DESEMPENHO DO ALUNO? EVIDÊNCIA
PARA O BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Economia.

Aprovado em: 17/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Gustavo Ramos Sampaio (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Paulo Henrique Pereira de Meneses Vaz (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Breno Sampaio (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Giuseppe Trevisan Cruz (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Resumo

O Horário de Verão (HV) tem suas implicações identificadas em áreas não diretamente relacionadas ao consumo de energia, como ocorre, por exemplo, em educação. Até então, essa política não possuía nenhum impacto em desempenho estudantil ao considerar uma distância em dias entre o início do HV e a realização de testes padronizados. Contudo, o resultado muda quando o início do Horário de Verão e o início de um exame de alta relevância no ensino básico brasileiro coincidem, prejudicando aqueles que tiveram que aderir a política. Este trabalho explora uma característica geográfica estabelecida pelo Horário de Verão no Brasil e uma decisão política de postergar o início do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) para a mesma data de início da política HV, sem considerar as possíveis externalidades que tal decisão poderia trazer para os alunos que residem nos estados que anualmente devem aderir a essa política.

Palavras-chave: Horário de Verão. Regressão descontínua geográfica. ENEM.

Abstract

Daylight Saving Time (DST) has your impacts identified in areas not directly related to consumption of energy, as occurs on education. This policy does not have impact on students performance when an interval (in days) between the DST start and standardized tests accomplishment as yet. However, this result has changed when the Daylight Saving Time beginning and brazilian high-stakes exam beginning overlap. This paper explores one geographic characteristic defined by the appliance of Daylight Saving Time in Brazil and a political decision which has postponed the high-stakes exam at the same date as the DST beginning, without considering the side effects that this decision could bring it in for students who live in brazilian states who must adhere to this policy.

Keywords: Daylight Saving Time. Regression Discontinuity Design. ENEM.

Sumário

1	Introdução	7
2	Referencial Teórico	9
3	Dados	11
4	Estratégia Empírica	12
4.1	Regressão Descontínua	13
4.2	Abordagem em Aprendizado de Máquina	15
4.3	Estatística descritiva e teste de balanceamento	16
5	Resultados	17
5.1	Resultados principais	17
5.2	Placebo	18
5.3	Validação	19
5.4	Resultados pelo método de aprendizado de máquina	20
6	Considerações Finais	21
	Referências	23
7	Apêndice	25

1 Introdução

O Horário de Verão (HV) é uma política energética que foi inserida no Brasil na década de 30 e que durou, no país, até 2018. Com início em outubro do ano atual e fim em fevereiro do ano seguinte, o Horário de Verão possui como finalidade a redução do consumo de energia elétrica ao adiantar o relógio em 1h (uma hora), de modo a estender o período de luz natural nos horários de pico de consumo de energia elétrica. Ao longo desses anos, ocorreram mudanças significativas na política quanto aos estados em que esta deveria ser obrigatoriamente aderida. De 1989 a 2018, apenas os estados das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste foram submetidos ao Horário de Verão.

As eleições que ocorreriam em outubro de 2018 levaram o governo vigente a postergar o início do horário de verão para novembro, decisão tornada pública em dezembro de 2017. Isso fez com que o Ministério da Educação (MEC) solicitasse a presidência, em 2018, que o início do Horário de Verão (HV) fosse adiado com o argumento de que os alunos das regiões que obrigatoriamente devem aderir a política poderiam ser prejudicados, dado que a data de início do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) coincidiu com o início da política HV, o que poderia comprometer a presença no dia do exame devido ao avanço do relógio em uma hora¹.

A presidência não atendeu ao pedido do MEC, mantendo a data de início do Horário de Verão no mesmo dia em que o ENEM teria início, mas a preocupação de que os candidatos nas regiões que aderem a política poderiam ser prejudicados permanece válida, não apenas quanto a presença no exame, mas também quanto ao desempenho desses alunos. Já existem na literatura uma série de evidências quanto ao impacto dessa política em temas não diretamente relacionados a proposta da sua criação, com efeito adequadamente identificado em mercado financeiro [Kamstra et al., 2000], ataque cardíaco [Toro et al., 2015] e bem-estar [Kountouris and Remoundou, 2014].

Em desempenho, existem poucas evidências devidamente que definem um efeito estatisticamente significativo da política HV (Herber et al. [2017], Gaski and Sagarin [2011]). Até então, não havia nenhuma ocorrência simultânea do início do Horário de Verão e do início de um teste padronizado que tornasse possível identificar o efeito do Horário de verão em performance, muito menos de um exame que possua uma relevância tão grande quanto o ENEM para os estudantes brasileiros. Isso permite definir se a transição para a política HV é capaz de afetar o desempenho do aluno, medido em nota, no curtíssimo prazo, isto é, se a realização de um exame horas depois do início da política é capaz de afetar a nota obtida pelo aluno que passou pela mudança.

Para analisar se existe o efeito da política HV em desempenho, uma característica geográfica definida pelos estados brasileiros será explorada. Quando os estados que aderem

¹ O pedido oficial do Ministério da Educação não está mais disponível. Contudo, é possível encontrar evidências em grande parte dos veículos de informação confiáveis do país.

a política foram institucionalmente definidos, uma borda geográfica que os separa dos estados que não aderem ao Horário de Verão foi estabelecida, dividindo o país em dois grandes grupos: um grupo de tratamento e um grupo de controle. Ao identificar todos os municípios de aplicação do ENEM, é possível georreferenciá-los e estabelecer a distância desses municípios até a borda que separa tratados e não tratados, permitindo a aplicação do método de regressão descontínua geográfica.

Um mecanismo de identificação do impacto do Horário de Verão pode ser estabelecido ao considerar a mudança abrupta nos padrões de rotina do indivíduo quando a política inicia. Ao adiantar o relógio em uma hora, os padrões de luminosidade natural se alteram, bem como o tempo de horas de sono, e isso pode ter impacto direto sobre o comportamento do indivíduo e capacidade de tomada de decisão. O relógio circadiano utiliza luz natural para adaptar o organismo do indivíduo ao ambiente [Kantermann et al., 2007] que, em períodos de não vigência da política HV, pode não sofrer interferências abruptas que impossibilitem tal adaptação. Quando o Horário de Verão acaba, a rotina de atividades diárias e horas dormidas do indivíduo se adaptam com facilidade, mas quando a política inicia, essa adaptação não ocorre [Kantermann et al., 2007].

A análise se concentra nos participantes do ENEM que estavam presentes nos dois dias do exame, matriculados no ensino regular e em idade escolar e advindos das escolas públicas do Brasil. Tais restrições foram estabelecidas de modo a manter uma amostra balanceada do público predominante do exame (alunos em idade escolar). Além disso, seria possível que alunos advindos de escolas particulares, por terem uma educação básica melhor, pudessem omitir o efeito da política, sendo por isso extraídos da amostra.

Os resultados encontrados mostram que a política HV reduziu a nota dos alunos tratados em 2018, no primeiro dia do exame. Já no segundo dia, o efeito foi estatisticamente igual a zero, fornecendo evidência de que o Horário de Verão afetou o desempenho do aluno. A fim de validar os resultados obtidos, a amostra de participantes de 2017 foi utilizada para estabelecer, a partir da mesma descontinuidade definida pela borda geográfica que separa os grupos de tratamento e controle, se as mesmas estimações pontuais não seriam encontradas. Neste caso, a aplicação do ENEM ocorreu 20 dias depois do início do Horário de Verão, e os resultados obtidos para este ano foram estatisticamente iguais a zero. Além de estabelecer a análise para um placebo, as variáveis de pré-tratamento também foram analisadas como variáveis de interesse de modo a definir se estas apresentavam pulos na descontinuidade, o que só ocorreu para a variável de *pib per capita*.

A proposta deste trabalho é identificar como o Horário de Verão afetou o desempenho dos indivíduos que prestaram o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) em 2018, considerando todos os fatores que estão relacionados a realização de um exame dessa magnitude (ansiedade, entrada na universidade, pressão familiar, etc). As próximas seções estão organizadas em Referencial Teórico, Dados, Estratégia Empírica, Resultados e Considerações

Finais.

2 Referencial Teórico

O Horário de Verão foi proposto com a intenção de reduzir o gasto de energia ao estender o tempo que o indivíduo se beneficia da luz natural, avançando o relógio em uma hora no local de vigência da política. O primeiro documento oficial foi escrito em 1907, que sugeria avançar o relógio em 20min sucessivamente aos domingos em abril, e retardá-lo na mesma medida aos domingos em setembro, mas a ideia não foi adotada [Aries and Newsham, 2008].

Em 1975, os Estados Unidos passaram a adotar o horário de verão com início no primeiro domingo de abril e fim no último domingo de outubro. No Brasil, a política é adotada todos os anos desde 1986, com participação atual das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) sugere os estados que devem adotar a política que, em geral, inicia no terceiro domingo de outubro e termina no terceiro domingo de fevereiro do ano seguinte. Em 2019, o Horário de Verão foi suspenso no país com a possibilidade de retorno em 2020 a partir de uma reavaliação da decisão.

Desde então, foi possível estabelecer que o consumo de energia elétrica em residências nos horários de pico foi atenuado, com um aumento notável do seu uso durante a manhã, que inicia em período de baixa luminosidade. Contudo, o mesmo efeito não pode ser observado no comércio ou na indústria, onde o gasto de energia ocorre continuamente durante o período de trabalho [Aries and Newsham, 2008].

A definição e implementação dessa política não possui efeito restrito a sua finalidade, sendo seu impacto discutido no comportamento do indivíduo que não se relaciona diretamente com o consumo de energia elétrica, mas em como isso pode afetar a sua performance em atividades diárias e capacidade de tomada de decisão. A mudança de horário causada pelo Horário de Verão é exógena, o que possibilita que efeitos causais, quando adequadamente identificados, sejam estabelecidos.

Os efeitos do Horário de Verão podem ser verificados na atividade criminal que ocorre após o seu início, num período de curto prazo [Doleac and Sanders, 2015]. O avanço do relógio em uma hora expande o tempo de luz natural ao fim do dia, período no qual a criminalidade é alta (17h-20h), ao considerar que o indivíduo pode identificar com maior facilidade quando um ato criminoso pode ocorrer e, desse modo, inibir a ação do infrator. A redução significativa em roubos no período de alta criminalidade e as evidências do impacto de tal política em crimes de violência sexual e homicídio, são capazes de definir a relevância do Horário de Verão em termos de custo social.

Um maior período de luz natural ao fim do dia é possibilitado pela sua diminuição ao amanhecer. Esse fato em conjunto com a mudança forçada no padrão de horas de sono

do indivíduo são mecanismos utilizados para explicar o impacto do Horário de Verão em acidentes de carro [Smith, 2016]. Contudo, é possível isolar os efeitos de cada mecanismo e definir que a privação do sono possui maior impacto no aumento do número de acidentes de carro, estabelecendo o HV como responsável por mais de 30 óbitos anualmente do período de 2002 a 2011.

Parte dos estudos que evidenciam os benefícios do Horário de Verão consideram que o número de horas de sono do indivíduo não se altera [Aries and Newsham, 2008]. Contudo, esse número pode não ser constante quando o período de curto prazo após o início da política é considerado, dado que ocorre uma mudança brusca no padrão de sono do indivíduo que possui rotina pré-estabelecida.

Giuntella and Mazzonna [2019], ao utilizar zonas de fuso-horário geograficamente definidas, mostram que indivíduos que moram em zonas em que o sol se põe 1 hora mais tarde tem uma perda de 19 minutos de sono quando comparados a indivíduos que vivem em zonas em que o sol se põe uma hora mais cedo. Isso ocorre devido a rigidez de horários que os trabalhadores enfrentam, uma das causas do que os autores denominam de *social jetlag*. Eles mostram ainda que a descontinuidade que define as zonas de fuso-horário afetam peso, doenças cardiovasculares e outras doenças relacionadas a perda de sono e mudanças no ritmo circadiano.

Uma relação entre política energética e o mercado financeiro pode se estabelecer pela redução da capacidade do indivíduo de resolver problemas mais complexos, quando o primeiro período de negociações que ocorre depois do início do Horário de Verão é considerado, devido ao menor número de horas dormidas [Kamstra et al., 2000].

Isso pode levar a tomada de decisões de menor risco, configurando em retornos negativos nos índices do mercado financeiro. O retorno negativo do Horário de Verão também pode ser medido em termos de bem-estar [Kountouris and Remoundou, 2014]. Ao estabelecer o efeito de HV dentro do período de uma semana do seu início no indicador de bem-estar do indivíduo, os autores encontraram um impacto negativo para aqueles que estavam empregados e ausência de efeito para os indivíduos que não faziam parte da força de trabalho, o que pode ser explicado pela agenda mais flexível do último grupo.

A mudança abrupta do ritmo circadiano devido a redução do número de horas de sono, em decorrência do início do Horário de Verão, não afeta apenas a capacidade de tomar decisão do indivíduo, mas também pode afetar o seu desempenho escolar medido em termos de testes padronizados [Gaski and Sagarin, 2011].

Existe evidência de que a política HV tem efeito negativo na média das escolas no exame SAT (*Scholastic Aptitude Test*), ao tomar o estado da Indiana como um experimento quasi-natural [Kotchen and Grant, 2011] por não ter um padrão de vigência do Horário de Verão até 2006, isto é, não é uma lei imposta a todas as regiões do estado, o que leva a não adesão da política por alguns deles.

Tal discussão acerca do impacto da política HV em desempenho não é recente e é semelhante ao que ocorre a respeito do horário estabelecido para início das aulas. Uma das justificativas que defensores do início tardio das aulas apresentam é que, nesse caso, os alunos teriam mais tempo de sono. Contudo, Edwards [2012], ao explorar a variação no horário de início das aulas entre e dentro das escolas de um mesmo distrito nos Estados Unidos, define que iniciar uma hora mais tarde aumenta em 3 pontos percentuais as notas padronizadas em testes de matemática e português.

Diferentemente da proposta de Edwards [2012], que analisa o efeito de iniciar as aulas 1 hora mais tarde, Herber et al. [2017] estabelece o efeito da mudança no relógio pela política HV. Neste caso, o autor mostra que essa política, com início uma semana antes da realização dos exames de matemática e português, apesar de possuir estimativas pontuais negativas, estas são muito pequenas em magnitude e estatisticamente iguais a zero.

No Brasil, a mesma variação de início das aulas não pode ser explorada, mas devido a ocorrência das eleições presidenciais que postergou o início da política HV e fez com que esta coincidissem com o início do ENEM, a borda geográfica que define as regiões tratadas e não tratadas permite que o efeito do Horário de Verão possa ser, de fato, definido, tendo em vista que a mesma simultaneidade ainda não havia ocorrido, nem muito menos explorada. Logo, a existência dessa borda define uma descontinuidade que viabiliza o uso do método de regressão descontínua geográfica.

Uma das primeiras grandes contribuições na literatura que faz uso do método de regressão descontínua geográfica define o efeito de longo prazo de um programa instituído no Peru, *Mita*, que estabelece uma descontinuidade entre famílias tratadas e não tratadas [Dell, 2010]. Tal estudo mostra que o programa de mineração reduz o consumo das famílias que pertencem ao lado da borda em que o programa foi instituído.

A literatura que aborda o impacto do Horário de Verão em desempenho existe, mas é incipiente. Definir o efeito dessa política, ao utilizar modelos robustos de identificação, em um teste padronizado de aplicação em âmbito nacional que tem como finalidade garantir o acesso a educação superior é uma proposta que pode contribuir com a discussão a respeito da permanência ou anulação do Horário de Verão. Tal contribuição é o objetivo desse projeto, ao considerar que o Brasil é um experimento quasi-natural para definir o efeito HV sobre o ENEM, teste padronizado que ocorre anualmente em todo o país.

3 Dados

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) é um teste de aplicação nacional que tem como principal finalidade possibilitar o acesso ao ensino superior, tendo sido realizado pela última vez nos dias 4 e 11 de dezembro de 2018, data de início do Horário de Verão no Brasil. A primeira edição do exame ocorreu em 1998, oferecendo a possibilidade ao

participante de utilizar a nota como requisito de entrada apenas em duas instituições de ensino superior, e aplicado em 184 municípios brasileiros.

Até 2008, o ENEM era constituído por 63 questões de múltipla escolha e uma redação. Contudo, com a criação do Sistema de Seleção Unificada (Sisu), o exame foi reformulado, passando a ser constituído por um total de 180 questões, 45 para cada uma das 4 áreas de conhecimento, sendo elas: Ciências Humanas, Ciências da Natureza, Linguagens e Códigos e Matemática e suas Tecnologias.

A aplicação da prova foi dividida em dois dias, duas áreas de conhecimento no sábado e as outras duas restantes no domingo, havendo no último dia de aplicação o acréscimo de uma hora no tempo de prova devido a Redação. A depender do curso e universidade para os quais o participante submete sua inscrição, o desempenho em nota do aluno pode ser definido a partir de alguma ponderação estabelecida ou simplesmente como a média aritmética das cinco provas que compõem o exame.

A disponibilização dos dados do ENEM são feitas pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP)², que permitem o acesso as notas individuais obtidas em cada área, as características individuais e socioeconômicas de cada participante e as características da escola onde ele estuda ou estudou. Até 2016, a prova era aplicada em um único final de semana, mas a partir de 2017, essa aplicação foi dividida em dois finais de semana consecutivos.

Devido a ocorrência das eleições presidenciais no Brasil em outubro de 2018, o Horário de Verão teve início apenas no mês anterior, no mesmo dia que o exame iniciou. Para a análise proposta, serão utilizados apenas os dados do exame correspondentes aos anos de 2015, 2017 e 2018. O último ano mencionado é utilizado para definir os resultados principais da análise, enquanto os dois primeiros serão aplicados como robustez e validação da estratégia adotada, a fim de fornecer maiores evidências acerca dos resultados obtidos.

Além das informações referentes ao desempenho e características pessoais e familiares dos participantes, serão utilizadas ainda informações dos estados e municípios, unidades que definem os grupos tratado e controle da análise, e permitem empregar a estratégia empírica apresentada na seção a seguir. Essas informações, relacionadas a saúde, educação, população e economia, são disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

4 Estratégia Empírica

Ao longo do tempo, alguns dos estados que constituem a região Nordeste do país (Bahia e Tocantins) aderiram ao Horário de Verão, ação predominantemente realizada pelos estados das regiões sul e sudeste. Contudo, em 2017 e 2018, apenas estes últimos aderiram

² Os dados de todas as edições do exame estão disponíveis no site do INEP.

a política, como mostra a figura abaixo. Por conta disso, é possível notar a formação de uma borda geográfica que define claramente um grupo de tratamento e um grupo de controle, transformando o território brasileiro em um experimento natural.

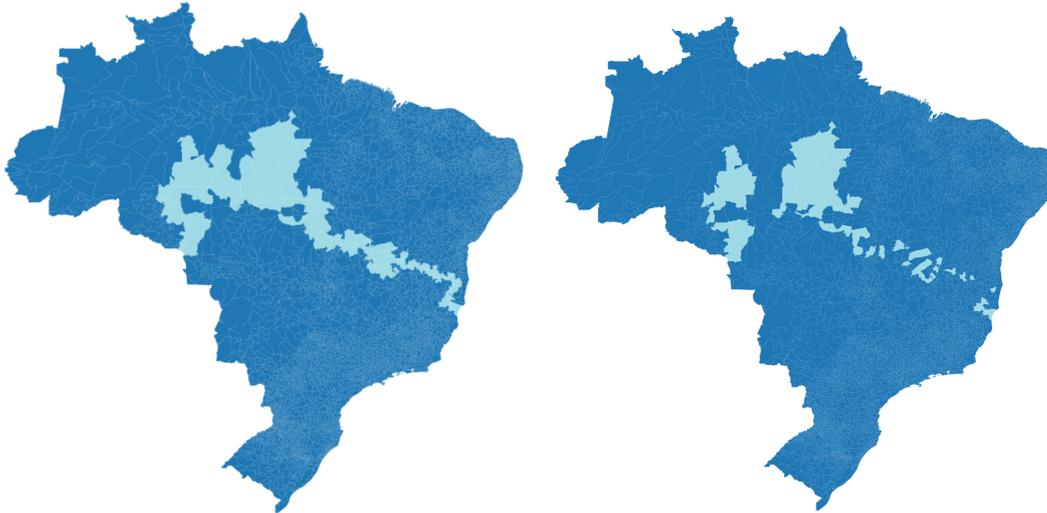


Figura 1 – Horário de Verão no Brasil.

A figura à esquerda apresenta todos os municípios que compõem a borda geográfica (em azul claro) que separa os estados de tratamento e de controle. Já a figura à direita apresenta apenas os municípios que estão na fronteira da borda geográfica e que possuem aplicação do ENEM.

O INEP não disponibiliza todas as informações quanto ao local de prova, se limitando ao estado e município de aplicação e mantendo em sigilo as escolas que receberam os candidatos durante a realização do exame. Mesmo assim, ao georreferenciar os municípios que constituem os estados tratados e não tratados, é possível estabelecer uma distância centrada em 0 até a borda que define os grupos de tratamento e controle, permitindo o emprego do método de regressão descontínua.

4.1 Regressão Descontínua

Para definir se a política do Horário de Verão afeta o desempenho dos estudantes de nível médio regular das escolas públicas, utiliza-se o método de Regressão Descontínua (RD). Tal método consiste em estabelecer as unidades de tratamento a partir de uma descontinuidade em x , normalmente denominada de *running* (ou *forcing*) *variable*, que pode ser determinística (*sharp* RD) ou probabilística (*fuzzy* RD). Isso significa que o tratamento é definido a partir de uma quebra conhecida, em que não importa o quão próximo a unidade não tratada esteja dessa quebra, o tratamento só ocorre quando x assume o valor da descontinuidade, \bar{x} [Angrist and Pischke, 2008].

Desse modo, ao considerar como unidade tratada apenas aquelas que estão ligeiramente acima ou na descontinuidade e como unidades não tratadas aquelas que estão ligei-

ramente abaixo da descontinuidade, é possível estabelecer um efeito de causa do tratamento de interesse dado que esta análise torna essas unidades comparáveis. Contudo, o tratamento de interesse nem sempre é definido por uma única *running variable*, sendo necessário que a unidade de observação satisfaça duas ou mais condições para que seja considerada tratada.

Essas condições se apresentam no contexto de regressão descontínua geográfica, em que as unidades de observação tratadas são definidas em um espaço geográfico. Os limites que definem esse espaço, ao terem suas coordenadas conhecidas, podem ser utilizados para estabelecer as unidades tratadas e não tratadas, isto é, ao conhecer cada ponto geográfico que constitui a borda da região de tratamento em latitude e longitude, é possível definir o início e utilizar a distância da unidade de observação até a borda como *running variable* [Keele and Titiunik, 2015].

No Brasil, as regiões institucionalmente selecionadas para adiantar o relógio em uma hora definem uma borda geográfica entre tratados e não tratados, permitindo analisar se a política do Horário de Verão afeta o desempenho dos alunos no Exame Nacional do Ensino Médio. A equação que define a análise de interesse é dada a seguir:

$$y_{ij} = \beta_0 + \tau \times D_j + f(\text{distancia})_j + X_i + X_j + \lambda_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

em que y_{ij} é a variável dependente do indivíduo i no município e escola j , X_i é um conjunto de covariáveis que definem características individuais e familiares, X_j é um conjunto de covariáveis que definem características do município j , λ_e define o efeito fixo de escola e $f(\text{distancia})$ define uma função polinomial local de ordem $p = 1, 2$. A *distancia*, *running variable* que define o tratamento, é definida pela distância (em quilômetros) mais próxima do centróide do município j até a borda que define o grupo tratado e não tratado. Os estimadores anteriormente apresentados serão definidos pelo método proposto por Calonico et al. [2014], que corrige os intervalos de confiança pelo viés relacionado ao comprimento das bandas ótimas que os métodos convencionais não levam em consideração ao defini-las.

Como o exame passou a ser aplicado em dois domingos consecutivos desde 2017, y_{ije} é definido como a média de nota do participante i no primeiro dia, constituída por três provas, e como a média de nota do participante i no segundo dia, constituída por duas provas. Essa definição é empregada por que o propósito deste artigo é definir se a política HV afeta o desempenho do aluno tratado no primeiro dia do exame de 2018, que é o único que coincide com a política. Assim, se um das provas for afetada, a média também será.

Apesar de ser semelhante a uma aplicação de regressão descontínua não geográfica de duas dimensões (ao definir a distância até a borda quando a latitude e longitude do centróide do município são conhecidas), a regressão descontínua geográfica possui algumas particularidades Keele and Titiunik [2015], são elas: tratamento composto, medida de distância e efeitos heterogêneos. O primeiro caso ocorre quando a borda geográfica que define o tratamento de interesse coincide com algum outro limite geográfico, como municípios, estados

ou regiões, que possuem suas próprias características e estas, por sua vez, podem interferir simultaneamente com o tratamento na variável dependente de interesse. Logo, uma das condições que a regressão descontínua geográfica precisa satisfazer é que somente o tratamento de interesse afeta o y .

Keele and Titiunik [2015] consideram o indivíduo como unidade de observação e, para cada um, os autores possuem coordenadas geográficas, definindo desse modo a distância mais próxima até a borda que estabelece o tratamento de interesse. Logo, a medida de distância que será utilizada é estritamente relevante já que indivíduos i e j que estão em pontos totalmente distintos podem ter a mesma distância ao limite geográfico que define o tratamento. Desse modo, estabelecer a distância considerando as informações de latitude e longitude permitem definir adequadamente a distância entre as unidades tratadas e não tratadas, bem como identificar uma série de outras características que podem coincidir com a borda geográfica.

Como o INEP não disponibiliza informações sobre o local de prova além do município de aplicação do exame, só é possível definir a distância euclidiana do centróide do município até a borda, assumindo que todos os participantes estão a essa mesma distância, uma das principais limitações da análise que foi contornada ao não estabelecer o comprimento das bandas de forma *ad hoc*. Além de apresentar os resultados das estimativas para os primeiro e segundo dias de aplicação do exame para 2018, em que apenas o primeiro dia é considerado tratado, são apresentados ainda os resultados para 2017 como um placebo, além de considerar como variáveis de interesse as covariáveis do modelo a fim de verificar se estas também são afetadas pelo tratamento.

4.2 Abordagem em Aprendizado de Máquina

Modelos de aprendizagem de máquina tem sido cada vez mais aplicados em áreas como educação [Chalfin et al., 2016], saúde [Kleinberg et al., 2015], pobreza [Dong et al., 2019] e sistema jurídico [Berdejo and Chen, 2017], a fim de auxiliar tomada de decisões ou antecipar comportamentos. Desse modo, ao empregar um modelo de aprendizagem de máquina que seja capaz de definir o desempenho dos alunos no ENEM, é possível analisar se tal modelo antecipa o efeito do Horário de Verão nos alunos tratados.

Para isso, o modelo de aprendizado de máquina precisa ser *treinado e testado*, de modo que o teste do modelo forneça uma medida de performance do modelo treinado. Uma das formas de treinamento e teste que fornece um medida de performance que se aproxima do comportamento do modelo treinado em um ambiente real, normalmente denominado de ambiente de produção, é o método de validação cruzada.

Neste método, um conjunto de dados com n observações é tomado e dividido em k subconjuntos de dados. O treinamento do modelo de aprendizado de máquina se dá em $k - 1$ subconjuntos, enquanto o teste se dá no subconjunto restante, permitindo obter um total

de k medidas de performance. Para um k suficientemente grande, é possível estabelecer uma distribuição empírica da performance do modelo, permitindo comparar tal distribuição estabelecida durante o treinamento do modelo com a distribuição de qualquer outro conjunto de dados em que o modelo seja aplicado.

Sendo assim, tomando o conjunto de informações do ENEM de 2017 e do ENEM de 2018 para estabelecer as distribuições empíricas de performance dos modelos em ambos os anos é possível compará-las e, desse modo, inferir se a distribuição do último ano difere da distribuição do primeiro, o que poderia indicar que o Horário de Verão sensibilizou os resultados do exame que coincidiu com o seu início. A medida de performance utilizada para estabelecer tais distribuições é denominada de *taxa de acerto*, apresentada a seguir:

$$\text{taxa de acerto} = \frac{\#\{y \in [\hat{y}_{(0.05)}; \hat{y}_{(0.95)}]\}}{n}. \quad (2)$$

Essa medida é obtida ao aplicar o método de *Random Forests Regressor*. O método de *Random Forest Regressor* pode ser interpretado como um conjunto j de árvores de regressão. Logo, ao tomar j previsões de nota para um aluno participante do exame, é possível ordenar todos os valores, em ordem crescente, e estabelecer um intervalo ao tomar os percentis 5 e 95%, o que define $[\hat{y}_{(0.05)}, \hat{y}_{(0.95)}]$. Logo, ao obter esse intervalo para os n participantes do ENEM, é possível estabelecer o número de vezes em que a média da nota pertence ao intervalo de previsão do modelo e, desse modo, estabelecer a *taxa de acerto* do modelo.

Ao combinar essa medida de performance com o método de validação cruzada, é possível obter k *taxas de acerto*, ordená-las e, novamente, estabelecer um intervalo percentil, o que caracteriza a distribuição empírica anteriormente mencionada. Logo, as distribuições de 2017 e 2018 são definidas abaixo:

$$\hat{\tau}_{2017} = [\hat{y}_{2017,(0.05)}; \hat{y}_{2017,(0.95)}] \quad (3)$$

$$\hat{\tau}_{2018} = [\hat{y}_{2018,(0.05)}; \hat{y}_{2018,(0.95)}] \quad (4)$$

Para definir $\hat{\tau}_{2017}$ e $\hat{\tau}_{2018}$, utilizou-se $k = 25$ subconjuntos de dados e um modelo de *Random Forests Regressor* de $j = 500$ estimadores. Apesar de uma amostra suficientemente grande ser necessária para estabelecer um modelo preditivo, foram mantidas apenas as observações que estavam a uma distância de até 500 km a borda geográfica para tornar o conjunto de dados utilizado na abordagem de aprendizado de máquina semelhante ao utilizado na estratégia de identificação do efeito causal.

4.3 Estatística descritiva e teste de balanceamento

A tabela 5 apresenta as estatísticas descritivas para as variáveis de interesse e as covariáveis que definem os resultados principais, para os municípios na região de tratamento

e de controle que definem a borda geográfica. É preciso considerar que a diferença de média entre os grupos de tratamento e de controle deve ser estatisticamente igual a zero nesses municípios, isto é, não deve haver descontinuidade nas covariáveis no grupo de municípios em que o ENEM é aplicado.

Dos 5570 municípios brasileiros, 122 constituem a borda geográfica que separa os estados tratados e não tratados, divididos entre Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Espírito Santo, Rondônia, Amazonas, Pará, Tocantins e Bahia, todos que definem a descontinuidade. Dos 122 municípios, apenas 48 possuem aplicação do exame, com 14 destes compondo a amostra de municípios com distância do centróide até a borda mais próxima de menos de 25 *km*.

Isso ocorre por conta da extensão territorial de diversos municípios brasileiros. Ao considerar as cidades que constituem a borda, a maior distância apresentada é de aproximadamente 346 *km*, o que indica que nem todos os municípios que definem a descontinuidade são considerados quando limites inferiores a distância de 346 *km* são estabelecidos. Contudo, quando estes são considerados, é possível validar que as covariáveis não apresentam diferenças estatisticamente significantes, fornecendo mais evidências de que uma queda na nota dos alunos tratados se deve a política HV.

5 Resultados

5.1 Resultados principais

A tabela 1 apresenta as estimações pontuais do método de regressão descontínua em 5 especificações, nos dois dias de exame em 2018, utilizando para definição da banda ótima o método CCT, para função polinomial de ordem $p = 1$. Para o primeiro dia de prova, considerando a última coluna a direita como especificação principal, houve uma redução na nota dos tratados equivalente a aproximadamente 0.003 em desvio padrão a 5% de significância, enquanto que para o segundo dia, o efeito da política possui magnitude menor e é estatisticamente igual a zero.

A diferença é de 7 dias entre a realização dos dois dias de prova em 2018, o que poderia justificar a existência de um efeito prolongado da política HV, considerando que a adaptação a mudança abrupta causada pelo Horário de Verão não ocorre de forma imediata. Mesmo que o coeficiente seja estatisticamente igual a 0, o sinal da estimativa pontual é negativo, o que pode indicar que esse período de adaptação de fato ocorre. Contudo, como esse efeito também pode ser atribuído a ansiedade e *stress* pela nível de relevância do exame, é preciso analisar ainda o que ocorre com a nota dos participantes sob a política HV quando as condições de tratamento são diferentes.

Tabela 1 – Resultados de 2018 pelo método de regressão descontínua

Primeiro dia					
HV	-0.004** (0.003)	-0.005** (0.003)	-0.004** (0.002)	-0.004** (0.002)	-0.003** (0.003)
Efeito fixo de escola	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Educ. dos pais	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Renda familiar	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Carac. pessoais	Não	Não	Não	Sim	Sim
Carac. dos municípios	Não	Não	Não	Não	Sim
Largura da banda (em km)	472,82	460,75	467,83	488,74	488,78
Observações a esquerda	26312	25151	25270	27451	27451
Observações a direita	44576	43532	43997	51162	51162
Segundo dia					
HV	-0.001 (0.001)	-0.002 (0.002)	-0.001 (0.001)	-0.002* (0.002)	-0.002 (0.002)
Efeito fixo de escola	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Educ. dos pais	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Renda familiar	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Carac. pessoais	Não	Não	Não	Sim	Sim
Carac. dos municípios	Não	Não	Não	Não	Sim
Largura da banda (em km)	856,62	745,05	784,77	653,31	659,54
Observações a esquerda	59366	47817	50737	42665	43329
Observações a direita	102914	89273	93572	73059	73565

Nota: ***, ** e * representam, respectivamente, $p < 1\%$, $p < 5\%$ e $p < 10\%$. Erros clusterizados a nível de estado.

5.2 Placebo

A fim de verificar se o impacto obtido para 2018 se deve unicamente a política HV, é apresentado a seguir os resultados para 2017 como um placebo da análise. Neste caso, a prova possui o mesmo padrão de aplicação que o ano de interesse, mas ocorreu 20 dias após a adesão da política pelos estados tratados. Logo, é esperado que o tratamento não afete a nota dos indivíduos que estão abaixo da borda geográfica.

Os coeficientes estimados definidos por uma regressão com polinômio de grau um são dados na tabela 2. Além de serem estatisticamente iguais a 0, o sinal das estimativas pontuais é positivo, tanto para o primeiro domingo de 2017 quanto para o segundo. Isso fornece maiores evidências a respeito do impacto da política HV no desempenho dos alunos no dia da transição, mas não elimina a pergunta de que períodos mais curtos após a mudança

ainda podem afetar os participantes devido a existência de um período de adaptação, que pode ter sido alcançado num período de 20 dias.

Tabela 2 – Resultados de 2017 pelo método de regressão descontínua

	Primeiro dia				
HV	0.000 (0.003)	0.000 (0.003)	0.052 (0.002)	0.000 (0.000)	0.000 (0.002)
Efeito fixo de escola	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Educ. dos pais	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Renda familiar	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Carac. pessoais	Não	Não	Não	Sim	Sim
Carac. dos municípios	Não	Não	Não	Não	Sim
Largura da banda (em km)	545,71	536,47	584,31	598,01	608,97
Observações a esquerda	38580	37884	46665	48767	49611
Observações a direita	73311	72695	80866	82383	83299
	Segundo dia				
HV	0.001 (0.002)	0.001 (0.003)	0.001 (0.003)	0.000 (0.003)	0.000 (0.003)
Efeito fixo de escola	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Educ. dos pais	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Renda familiar	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Carac. pessoais	Não	Não	Não	Sim	Sim
Carac. dos municípios	Não	Não	Não	Não	Sim
Largura da banda (em km)	1045,67	908,23	706,91	641,17	697,12
Observações a esquerda	121209	37884	59039	52720	57749
Observações a direita	254749	72695	106843	89032	106309

Nota: ***, ** e * representam, respectivamente, $p < 1\%$, $p < 5\%$ e $p < 10\%$. Erros clusterizados a nível de estado.

5.3 Validação

Em regressão descontínua, uma das condições que precisam ser satisfeitas para que o efeito causal da política em análise seja devidamente estabelecido é que a *running variable* não apresente descontinuidade no ponto que define o *threshold* ou *cutoff* do tratamento. Isso garante que as unidades de observação que aderiram ao Horário de Verão sejam tão aleatórias quanto possível.

Para definir se essa condição é satisfeita, uma das possibilidades é a aplicação do teste de MacCarty na *running variable*. Ao aplicá-lo na banda ótima definida pelo método

CCT, o coeficiente obtido é positivo e estaticamente significativo. Esse resultado não é inesperado, pois as regiões tratadas são constituídas por municípios maiores (IBGE), o que torna a densidade desse grupo superior a tratada.

Tabela 3 – Descontinuidade nas covariáveis -2018

Covariáveis	Estimativas	Covariáveis	Estimativas
Renda familiar de até um salário	0.000 (0.000)	En. Médio	0.000
Renda familiar de até dois salários	0.000 (0.000)	Completo (Mãe)	(0.000)
En. Fundamental Incompleto (Pai)	0.000 (0.000)	Raça branca	0.000 (0.000)
En. Fundamental Completo (Pai)	0.000 (0.000)	Feminino	0.000 (0.000)
En. Médio Completo (Pai)	0.000 (0.000)	Possui transporte	-0.000 (0.000)
En. Fundamental Incompleto (Mãe)	0.000 (0.000)	População urbana (Proporção)	0.000 (0.000)
En. Fundamental Completo (Mãe)	0.000 (0.000)	Pib <i>per capita</i>	-0.000 (0.000)
		Taxa de escolarização	-0.000 (0.000)

Nota: ***, ** e * representam, respectivamente, $p < 1\%$, $p < 5\%$ e $p < 10\%$. Os resultados foram controlados por efeito fixo de município para a banda correspondente a 488,78 km referente a um dos resultados principais. Erros clusterizados a nível de estado.

Uma outra condição que deve ser atendida é que as covariáveis aplicadas ao modelo de regressão não podem apresentar descontinuidade nas proximidades do *cutoff*, isto é, dentro da banda definida pelo método CCT, os controles não devem possuir estimações pontuais estatisticamente diferentes de 0. Do contrário, o efeito negativo encontrado pelo método de regressão descontínua não pode ser totalmente atribuído ao tratamento.

A tabela 3 apresenta parte as estimativas pontuais correspondentes as covariáveis utilizadas na especificação que das tabelas 1 e 2. Todas as variáveis que, como já demonstrado empiricamente pela literatura, são capazes de afetar desempenho, não apresentam descontinuidade na borda em que o efeito da política é definido.

5.4 Resultados pelo método de aprendizado de máquina

A tabela 4 apresenta os intervalos de performance para o modelo de 2017, 2018 e a taxa de acerto do modelo de 2017 para os grupos de tratamento e de controle de 2018, para o primeiro dia de exame. Com relação aos intervalos de taxa de acerto dos grupos de tratamento de 2017 e de 2018, nota-se que ambos são muito parecidos, com o intervalo referente a 2018 pertencente ao intervalo de 2017. O mesmo ocorre com o grupo de controle dos anos 2017 e 2018.

Ao comparar os intervalos dos grupos de tratamento e de controle de 2017, é possível notar que a taxa de acerto do modelo é superior no grupo de controle e que, ao tomar o limite superior do intervalo do grupo de tratamento e o limite inferior do grupo de controle, a distância em percentual entre eles equivale a 1.02%. Fazendo a mesma comparação entre grupos de tratamento e de controle de 2018, essa distância em percentual equivale a 1.36%.

Apesar da diferença entre as distâncias ser pequena, ela sustenta a evidência de que os alunos que fizeram o ENEM sob o Horário de Verão possuíram desempenho inferior aqueles que não aderiram a política, dado que ainda exista um padrão de taxa de acerto entre os grupos, esse índice é ainda mais inferior para 2018, o ano em que a prova ocorreu no mesmo dia da transição. A última coluna da tabela 4 apresenta ainda a taxa de acerto do modelo de 2017 em 2018, mostrando novamente que o modelo preditivo erra mais a nota dos alunos do grupo de tratamento quando comparado aos alunos do grupo de controle.

Tabela 4 – Intervalo de taxa de acerto pelo método de Aprendizado de Máquina

	2017	2018	2017 → 2018
Tratados	[72.26 ; 74.03]	[72.41 ; 73.96]	48.31
Não Tratados	[75.05 ; 77.42]	[75.32 ; 77.31]	51.29

6 Considerações Finais

Em novembro de 2018, o Exame Nacional do Ensino Médio, que garante a entrada nas universidades públicas de todo o país, bolsas de estudo integral em universidades particulares e financiamento estudantil, teve sua aplicação com início no mesmo dia que a transição para o Horário de Verão nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Isso permitiu estabelecer o efeito da política no desempenho dos alunos de escola pública por meio da descontinuidade definida pela borda geográfica que separa tratados e não tratados.

Os resultados para 2018 mostram que os participantes tratados obtiveram desempenho inferior quando comparados aos participantes não tratados apenas no primeiro dia de exame, enquanto no segundo dia, o efeito dessa política é estatisticamente igual a zero. A fim de tornar os resultados mais robustos, considerou-se ainda estabelecer a mesma análise para o ano de 2017, o único que possui o mesmo padrão de aplicação que 2018. Neste caso, os coeficientes são estatisticamente iguais a zero para ambos os dias de prova.

Em 2019, o Horário de Verão foi suspenso com possibilidade de retornar no ano de 2020. Apesar de a data de aplicação do ENEM sempre ocorrer depois do início da política, os resultados obtidos podem contribuir não só com a discussão a respeito de novamente implementar o Horário de Verão como com as decisões políticas que devem considerar os

impactos que irão envolvê-la que, neste caso, prejudicou os participantes que passaram pela mudança antes do exame.

Referências

- Mark J Kamstra, Lisa A Kramer, and Maurice D Levi. Losing sleep at the market: The daylight saving anomaly. *American Economic Review*, 90(4):1005–1011, 2000.
- Weily Toro, Robson Tigre, and Breno Sampaio. Daylight saving time and incidence of myocardial infarction: evidence from a regression discontinuity design. *Economics Letters*, 136:1–4, 2015.
- Yiannis Kountouris and Kyriaki Remoundou. About time: Daylight saving time transition and individual well-being. *Economics Letters*, 122(1):100–103, 2014.
- Stefanie P Herber, Johanna Sophie Quis, and Guido Heineck. Does the transition into daylight saving time affect students’ performance? *Economics of Education Review*, 61:130–139, 2017.
- John F Gaski and Jeff Sagarin. Detrimental effects of daylight-saving time on sat scores. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 4(1):44, 2011.
- Thomas Kantermann, Myriam Juda, Martha Merrow, and Till Roenneberg. The human circadian clock’s seasonal adjustment is disrupted by daylight saving time. *Current Biology*, 17(22):1996–2000, 2007.
- Myriam BC Aries and Guy R Newsham. Effect of daylight saving time on lighting energy use: A literature review. *Energy policy*, 36(6):1858–1866, 2008.
- Jennifer L Doleac and Nicholas J Sanders. Under the cover of darkness: How ambient light influences criminal activity. *Review of Economics and Statistics*, 97(5):1093–1103, 2015.
- Austin C Smith. Spring forward at your own risk: Daylight saving time and fatal vehicle crashes. *American Economic Journal: Applied Economics*, 8(2):65–91, 2016.
- Osea Giuntella and Fabrizio Mazzonna. Sunset time and the economic effects of social jetlag: evidence from us time zone borders. *Journal of health economics*, 65:210–226, 2019.
- Matthew J Kotchen and Laura E Grant. Does daylight saving time save energy? evidence from a natural experiment in indiana. *Review of Economics and Statistics*, 93(4):1172–1185, 2011.
- Finley Edwards. Early to rise? the effect of daily start times on academic performance. *Economics of Education Review*, 31(6):970–983, 2012.

- Melissa Dell. The persistent effects of peru's mining mita. *Econometrica*, 78(6):1863–1903, 2010.
- Joshua D Angrist and Jörn-Steffen Pischke. *Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton university press, 2008.
- Luke J Keele and Rocio Titiunik. Geographic boundaries as regression discontinuities. *Political Analysis*, 23(1):127–155, 2015.
- Sebastian Calonico, Matias D Cattaneo, and Rocio Titiunik. Robust nonparametric confidence intervals for regression-discontinuity designs. *Econometrica*, 82(6):2295–2326, 2014.
- Aaron Chalfin, Oren Danieli, Andrew Hillis, Zubin Jelveh, Michael Luca, Jens Ludwig, and Sendhil Mullainathan. Productivity and selection of human capital with machine learning. *American Economic Review*, 106(5):124–27, 2016.
- Jon Kleinberg, Jens Ludwig, Sendhil Mullainathan, and Ziad Obermeyer. Prediction policy problems. *American Economic Review*, 105(5):491–95, 2015.
- Lei Dong, Carlo Ratti, and Siqi Zheng. Predicting neighborhoods' socioeconomic attributes using restaurant data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(31):15447–15452, 2019.
- Carlos Berdejo and Daniel L Chen. Electoral cycles among us courts of appeals judges. *The Journal of Law and Economics*, 60(3):479–496, 2017.

7 Apêndice

Tabela 5 – Estatística descritiva e teste de balanceamento

Variáveis	Tratados	Não tratados	<i>p</i> -valor
Variáveis de interesse			
CH	543.55	546.95	0.1
MT	515.79	514.07	0.46
LC	503.89	507.92	0.03
CN	475.27	476.09	0.63
RED	479.7	502.92	0.0
Covariáveis			
Renda de até um salário	0.34	0.35	0.71
Renda de um até três salários	0.37	0.36	0.37
Renda acima de três salários	0.29	0.29	0.57
Idade	16.96	16.9	0.0
Raça branca	0.25	0.25	0.89
En. Fundamental Incompleto (Pai)	0.46	0.44	0.09
En. Fundamental Completo (Pai)	0.13	0.13	0.93
En. Médio Completo (Pai)	0.24	0.26	0.07
Outros níveis de educação (Pai)	0.17	0.17	0.92
En. Fundamental Incompleto (Mãe)	0.27	0.27	0.75
En. Fundamental Completo (Mãe)	0.12	0.13	0.36
En. Médio Completo (Mãe)	0.34	0.34	0.74
Outros níveis de educação (Mãe)	0.26	0.26	0.99
Possui transporte	0.67	0.67	0.89
Feminino	0.62	0.64	0.31
População urbana (Proporção)	0.73	0.67	0.17
Pib <i>per capita</i>	11.33	10.43	0.57
Taxa de escolarização	96.72	95.26	0.15

As provas CH, LC e RED (Ciências Humanas, Linguagens e Códigos e Redação) foram realizadas no primeiro domingo do ENEM, enquanto CN e MT (Ciências da Natureza e Matemática) foram realizadas no segundo domingo. O *p*-valor apresentado corresponde ao teste de diferença de médias entre estudantes tratados e não tratados. O teste de diferença de médias para as variáveis de município (população urbana, pib *per capita* e taxa de escolarização) consideram o número de municípios como *n*.