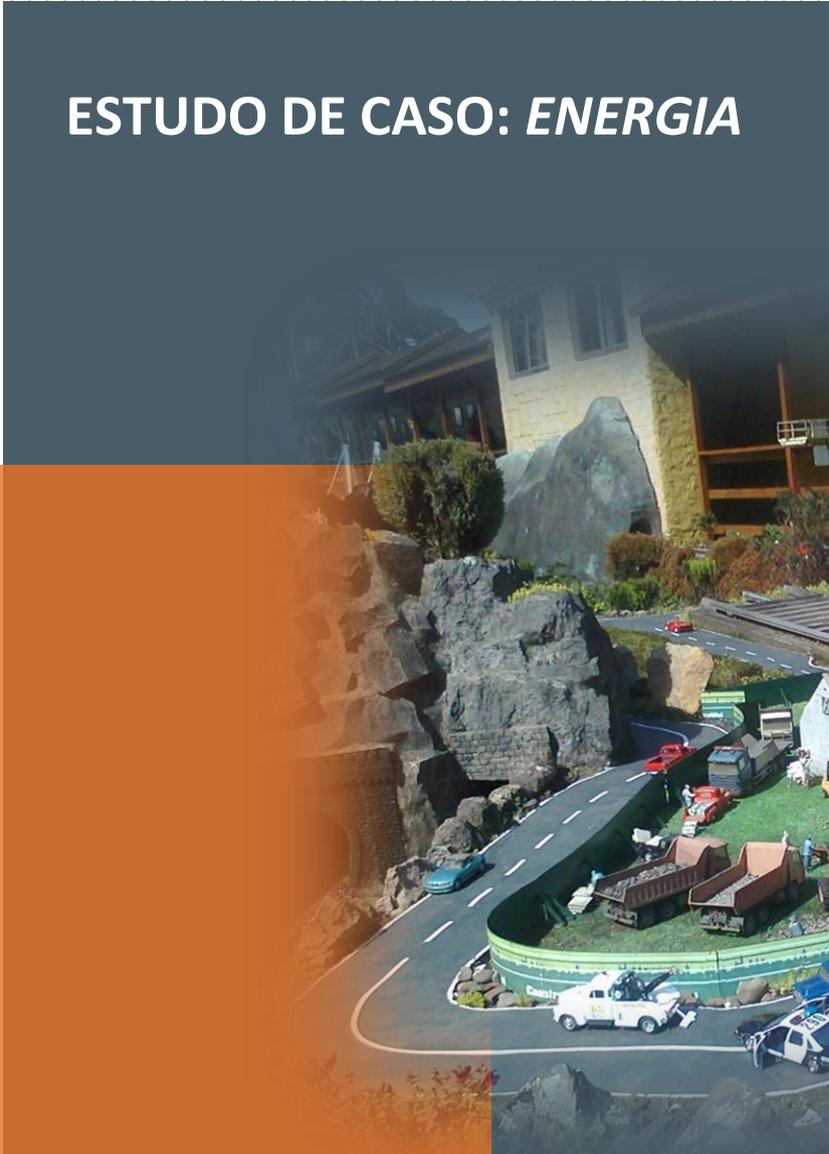


ESTUDO DE CASO: *ENERGIA*



JOF 2845/2021 | PNUD Projeto BRA/18/023

SETE ESTUDOS DE CASO DE AVALIAÇÕES EX POST DE PROJETOS DE INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA

Outubro de 2022



MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

SECRETARIA ESPECIAL DE
PRODUTIVIDADE E COMPETITIVIDADE

APRESENTAÇÃO

A Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura, da Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade do Ministério da Economia, tem por competências produzir informações gerenciais econômicas e com vistas a dar transparência dos investimentos e propor a aplicação de metodologias para a priorização de investimentos em infraestrutura (Decreto nº 9.745, de 2019). Para tanto, definiu-se como estratégia o desenvolvimento de técnicas de avaliação socioeconômica de projetos, sejam elas de escopo *ex ante* ou *ex post*, com base nas melhores práticas disponíveis na literatura especializada, de forma a identificar os impactos socioambientais e econômicos dos projetos implementados.

Segundo o relatório *Infrascope (Economist Impact, 2022)*, embora o Brasil tenha um desempenho razoável no tema de avaliação *ex post*, ainda há muito a se avançar nessa agenda especialmente temática de avaliação dos impactos ambientais e sociais dos projetos de infraestrutura. A adoção de técnicas de avaliação *ex post* de políticas públicas é aderente não apenas às melhores práticas internacionais para o planejamento da infraestrutura, mas também aos princípios da recém promulgada Emenda Constitucional nº109 de 2021 (CF - Art. 37 § 16) que trata sobre avaliação dos resultados e gestão de políticas públicas.

Apesar de muito difundida a avaliação de impacto de políticas públicas, a literatura de avaliação de projetos específicos de infraestrutura é mais restrita. Embora os métodos utilizados em políticas públicas possam, em teoria, ser utilizados para avaliar infraestrutura, na prática, essa aplicação não é trivial. Assim, a partir de uma parceria da Sepec/ME e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), foi contratada uma consultoria especializada para desenvolver sete estudos de caso, uma para segmento da infraestrutura. São eles 1) logística; 2) energia; 3) segurança hídrica; 4) mobilidade urbana; 5) telecomunicações; 6) saneamento básico, e; 7) habitação.

O estudo de caso apresentado nesta publicação é parte integrante de tal série de estudos setoriais que visam identificar as metodologias e as variáveis de interesse usuais em cada segmento da infraestrutura. Ressalta-se, entretanto, que o objetivo de tais estudos, para além de avaliar os resultados de cada projeto especificamente, é principalmente ilustrar a aplicação das metodologias de avaliação *ex post* para cada setor da infraestrutura. A padronização metodológica promovida por essa série de estudos, portanto, oferece não apenas um modelo de avaliação mais transparente dos investimentos passados, mas também informações importantes para se retroalimentar o planejamento de empreendimentos futuros com informações mais realistas dos impactos socioambientais mais comuns em cada setor da infraestrutura.

Documento elaborado e entregue pela Pezco Consultoria, Editora e Desenvolvimento LTDA como Produto 04 - Relatório de Estudo de Caso: Energia, sobre um estudo de caso de avaliação de impacto *ex post* ao setor de energia, do contrato BRA10-1130-39146/2021, Solicitação de Proposta (SDP) nº JOF 2845/2021, no âmbito de parceria da SEPEC/ME com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Projeto BRA/18/023. Após sua entrega, este produto foi revisado e atualizado pela SDI/SEPEC/ME para sua publicação definitiva. Sua redação final pode divergir pontualmente, portanto, daquela inicialmente apresentada pela consultoria e aprovada pela SDI/SEPEC/ME.

Equipe técnica da Pezco responsável pela elaboração deste produto:

Klenio de Souza Barbosa
 Rodrigo Menon Simões Moita
 Raquel Pereira Pontes
 Frederico Araujo Turolla
 Bruna de Abreu Martins
 Yan Nonato Cattani
 Mario Antonio Margarido
 Matheus Shiro Pinheiro Hirata
 Leonardo Baptista Correia
 Daniel Kiyoyudi Komesu
 Pedro Henrique Nirschl-Silva
 Luis Felipe de Miranda Arthur

Equipe técnica SDI/SEPEC/ME responsável pela revisão e aprovação deste produto:

Subsecretário de Inteligência Econômica e de Monitoramento de Resultados
 Rodolfo Gomes Benevenuto
 Coordenador-Geral de Inteligência Econômica
 Diego Camargo Botassio
 Coordenador-Geral de Monitoramento de Resultados
 Renato Alves Morato

SUMÁRIO

RESUMO	6
I. INTRODUÇÃO	6
II. O ESTUDO E VARIÁVEIS ANALISADAS	7
II.1 CONTEXTO HISTÓRICO-SETORIAL	7
II.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA HÍDRICO BRASILEIRO	9
III. O MODELO E BASE DE DADOS	11
III.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
III.2 ESTRATÉGIA EMPÍRICA	19
III.3 BASE DE DADOS	25
IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
IV.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	27
IV.2 RESULTADOS PRINCIPAIS	29
IV.3 DISCUSSÃO	39
IV.4 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS	43
V. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
APÊNDICE A: TABELAS, QUADROS E FIGURAS	50
MATERIAL SUPLEMENTAR	58

ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABREVIACÃO	SIGNIFICADO
ABRATE	Associação Brasileira das Empresas de Transmissão de Energia Elétrica
ACL	Ambiente de Contratação de Energia
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APA	Área de Proteção Ambiental
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
BEN	Balanco Energético Nacional
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEM	<i>Coarsened Exact Matching</i>
CEPAL	Comissão Econômica para América Latina e Caribe (Organização das Nações Unidas)
CERJ	Companhia de Eletricidade do Estado do Rio de Janeiro
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
DEA	Data Envelopment Analysis (Análise Envolvória de Dados)
EF	Estrada de Ferro
EIA	Energy Information Administration
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ES	Espírito Santo (estado)
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FLONA	Floresta Nacional
FLOTA	Floresta Estadual
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GO	Goiás (estado)
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt hora
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
IFDM	Índices de Desenvolvimento Municipal
II PND	Segundo Programa Nacional de Desenvolvimento
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
ISO	<i>Independent System Operator</i> (Operador Independente do Sistema)
JOF	Joint Operations Facility (Plataforma da Organização das Nações Unidas)
km	Quilômetro
kW	Quilowatt
MAE	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
Mapbiomas	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MCP	Mercado de Curto Prazo
MG	Minas Gerais (estado)
MME	Ministério de Minas e Energia
MRE	Mecanismo de Realocação de Energia
MT	Mato Grosso (estado)
MS	Mato Grosso do Sul (estado)
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
NA	Não Disponível
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODA	Official Development Assistance (Assistência Oficial ao Desenvolvimento)
ONG	Organizações não Governamentais
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Pará (estado)
PAR	Plano de Ampliações e Reforços
PCH	Pequena Central Hidrelétrica

ABREVIÇÃO	SIGNIFICADO
PET	Plano de Expansão da Transmissão
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PR	Paraná (estado)
R2	Coefficiente de determinação
RDS	Reserva de Desenvolvimento Sustentável
RESEX	Reserva Extrativista
RF	Reserva da Fauna
RO	Roraima (estado)
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RS	Rio Grande do Sul (estado)
SC	Santa Catarina (estado)
SDI	Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura
SIGA	Sistema de Informações de Geração da ANEEL
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SIN	Sistema Interligado Nacional
SP	São Paulo (estado)
TI	Terra Indígena
TO	Tocantins (estado)
TWh	Terawatt hora
UC	Unidade de Conservação
UF	Unidade Federativa
UHE	Usina Hidrelétrica
US\$	Dólares Americanos
USD	Dólares Americanos

RESUMO

Este estudo estima o impacto da construção e entrada em operação das usinas hidrelétricas (UHEs) sobre variáveis socioeconômicas e ambientais dos municípios brasileiros. Explorando a implantação gradual e sequencial das 102 UHEs que entraram em operação no Brasil entre 2000 e 2020, este estudo utiliza o método de diferenças em diferenças do tipo *staggered*, combinado com um pareamento pré-entrada entre os municípios afetados pela entrada da UHE (tratados) com os municípios não afetados pela entrada (controles), para estimar o efeito da entrada das UHEs sobre a área de floresta, população, PIB real, PIB per capita e índices de desenvolvimento humano dos municípios brasileiros. As estimativas mostram que a introdução de uma UHE em um município provoca aumento da sua população, PIB e PIB per capita. Porém, a construção e entrada em operação de UHEs causa uma redução importante da área de floresta dos municípios que receberam as UHEs, efeitos decorrentes do efeito do tamanho do reservatório das UHEs, mas também dos efeitos de segunda ordem frutos das atividades antropogênicas desde o período de início da operação das UHEs. As estimativas mostram que não há evidência robusta de que a entrada das UHEs tenha afetado o nível de desenvolvimento humano dos municípios. Por fim, os resultados também sugerem que a entrada das UHEs gera importantes efeitos de transbordamento, uma vez que os municípios vizinhos aos municípios que receberam as UHEs também apresentaram aumento da população, PIB e PIB per capita, e redução da área de floresta. Adicionalmente, de modo a apurar a complexidade dos efeitos de desmatamento na região amazônica onde há o maior potencial hidrelétrico do país, foi realizado um exercício sobre como a presença de unidades de conservação ambiental no município afeta o impacto da entrada de uma UHE sobre a área de floresta dos municípios tratados. Os resultados sugerem que a existência de unidades de conservação nos municípios reduz significativamente o desmatamento induzido, fruto da expansão de atividades econômicas pós-UHE.

I. INTRODUÇÃO

O processo de implantação das usinas hidrelétricas no Brasil tem sido contínuo e sequencial desde o século 19. Porém, mais da metade das usinas hidrelétricas existentes no país foram construídas e começaram a entrar em operação apenas depois do ano 2000. A título ilustrativo, entre 2000 e 2005 um total de 57 usinas hidrelétricas entraram em operação no país. Entre 2006 e 2010, foram 61 usinas que entraram em operação. No período mais recente, entre 2011 e 2020, 35 usinas hidrelétricas começaram a operar no país. Assim, ao longo de 2000 e 2020 um total de 153 usinas hidrelétricas (UHEs) foram implantadas e iniciaram atividades no Brasil (ANEEL, 2022). O período após o ano 2000 é, portanto, o mais relevante para a avaliação do impacto das suas entradas nos municípios brasileiros.

Desta forma, este estudo tem o objetivo de explorar a implantação gradual e sequencial de 102 das 153 UHEs¹ que entraram em operação no país entre 2000 e 2020 utilizando o método de diferenças em diferenças do tipo *staggered* combinado com um pareamento pré-entrada entre os municípios afetados pela entrada da UHE (tratados) com os municípios

¹ Um conjunto de 51 UHEs não tiveram correspondência de pareamento na etapa de pré-tratamento. O método será descrito na seção IV.

não afetados pela entrada (controles) para estimar o efeito da entrada das UHEs sobre: área de floresta, população, PIB real, PIB per capita e subíndices de desenvolvimento dos municípios brasileiros. Serão considerados como tratados (grupo tratamento) os municípios que receberam as usinas hidrelétricas entre 2000 e 2020.

Para tanto, serão apontados como controles (grupo controle) os municípios vizinhos dos municípios que receberam a UHE com as seguintes características: (i) que estão localizados num raio de 50 a 75 quilômetros de distância da UHE, e (ii) que possuem área de floresta, população, PIB real, PIB per capita estatisticamente semelhante à dos municípios tratados no ano 2000, período anterior à entrada das 102 UHEs analisadas (pareamento pré-entrada).

Esse estudo também avalia se a entrada de UHEs gera importantes efeitos de transbordamento nos municípios vizinhos dos municípios que receberam as UHEs. Para isso, foram estimados os efeitos da entrada de uma UHE para 3 tipos alternativos de grupos de tratados no ano 2000 para as variáveis: área de floresta, população, PIB real, PIB per capita.

Por fim, em decorrência do maior potencial hidrelétrico estar alocado na região norte, local que também apresenta a menor densidade populacional do país em virtude do bioma amazônico, este estudo também estima o efeito do tamanho do reservatório de uma UHE sobre a área de floresta dos municípios tratados, além de realizar um exercício sobre como a presença de unidades de conservação ambiental no município afeta o impacto da entrada de uma UHE sobre a área de floresta dos municípios tratados.

II. O ESTUDO E VARIÁVEIS ANALISADAS

II.1 CONTEXTO HISTÓRICO-SETORIAL

A organização setor elétrico brasileiro em respeito à geração e distribuição nos últimos 50 anos pode ser dividido em dois períodos: antes e depois dos anos 1990. No primeiro período, pré anos 90, a Eletrobrás coordenava todas as empresas do setor elétrico do país. Criada em 1962, nos seus primeiros 17 anos a empresa estava no centro de um modelo de nacionalização e estatização por meio de grandes investimentos no setor elétrico nacional. O modelo não se mostrou sustentável e, após subsequentes choques do petróleo na década de 70, as empresas do setor elétrico acumularam pesados passivos e perderam capacidade de investimento. Uma série de reformas do sistema elétrico brasileiro foi implementada a partir dos anos 90 para endereçar essa situação.

Em 1995, a Lei de Concessões definiu condições para a desestatização de várias áreas, incluindo o setor elétrico. Em 1996 foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma entidade reguladora nacional independente, a qual entre seus objetivos destacam-se a regulação e fiscalização do setor elétrico brasileiro, abrangendo todos seus elos desde a geração, passando pela transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Entre suas atribuições estão a definição da política de tarifas de energia elétrica, até a resolução de conflitos entre os agentes integrantes do sistema elétrico nacional. Nesse contexto, as primeiras privatizações de empresas do setor aconteceram na metade da década de 90 e continuaram no final dos anos 1990 e início dos anos 2000.

Em 1998 foi criado o Sistema Integrado Nacional (SIN), que agrega os segmentos de produção e transmissão de energia elétrica em todo o território nacional. Esse sistema engloba os segmentos hidro-termo-eólico, onde há amplo predomínio de usinas hidrelétricas. O SIN é constituído por quatro grandes subsistemas, denominados Sul,

Sudeste/Centro Oeste, Nordeste, além de expressiva parcela da região Norte. A interligação entre esses quatro subsistemas elétricos via malha nacional de transmissão permite que problemas na geração de energia elétrica em determinada região possam ser mitigados pela transferência de energia elétrica de outras regiões. Há expressivos ganhos de sinergia derivados da possibilidade de explorar a capacidade hidrológica de diversas bacias do país. Em outras palavras, a principal vantagem proporcionada pelo SIN consiste em integrar os vários sistemas de geração e de transmissão de energia de forma a atender a demanda de mercado com eficiência, isto é, com menores custos e com maior nível de segurança.

Outro marco relevante no caso do setor elétrico brasileiro ocorreu em 1998, com a criação do Ambiente de Contratação Livre (ACL) de energia elétrica. O ACL foi uma inovação relevante ao permitir a livre negociação entre os consumidores e os geradores comercializadores de energia elétrica.

Entre as ações realizadas para evitar futuras crises energéticas no país foram criadas a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) e regulamentado o ONS – Operador Nacional do Sistema. A EPE é o órgão responsável pelo planejamento e expansão do sistema energético do país, com a finalidade de prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis (eólica, solar, biomassa) e eficiência energética, dentre outras (Art. 2º da Lei nº 10.847/2004).

O CMSE foi criado pela Lei 10.848, de 2004, com a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional. De acordo com o Decreto 5.175, de 9 de agosto de 2004, o CMSE é presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, sendo o órgão responsável para garantir a segurança do suprimento de energia elétrica do país.

O ONS é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da ANEEL. O ONS foi instituído em 26 de agosto de 1998 sendo regido pela Lei n. 9.648 e regulamentado pelo Decreto n. 5.081/2004. Sob o ponto de vista jurídico, a ONS é considerada pessoa jurídica de direito privado, no formato de uma associação sem fins lucrativos. Em linhas gerais, o ONS (Operador Nacional do Sistema) é o ISO brasileiro (operador independente do sistema), que coordena o sistema de transmissão e o despacho centralizado de energia elétrica.

Conforme Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012 da ANEEL, o “despacho de geração é a energia gerada por uma ou mais usinas do sistema, alocada pelo órgão de coordenação da geração”. No Brasil, predomina o despacho centralizado, o qual, é o conjunto de instruções e ações de coordenação e controle de um sistema elétrico integrado, que envolvem tanto o planejamento como a operação em tempo real e a pós-operação. Na prática, é a forma como o ONS define a programação de geração de cada uma das usinas do SIN. É necessário destacar que, no caso do despacho centralizado, cada usina geradora informa o ONS quanta energia quer ofertar e qual seu respectivo preço. Com base nessas informações, o ONS estima as respectivas curvas de oferta e demanda de energia. Após encontrar o ponto de equilíbrio, o ONS realiza os despachos das usinas cujos preços sejam inferiores ou igual ao preço de equilíbrio.

De acordo com Esferablog (2022), é necessário realçar que “nem toda unidade geradora opera dessa forma. Segundo o ONS, o despacho centralizado é a modalidade de operação das usinas tipo I, no qual se enquadram: Usinas conectadas na rede básica, independente da potência injetada no SIN e da natureza da fonte primária; Usinas ou conjunto de usinas

conectadas fora da rede básica que impactam a segurança da rede de operação; Usinas cuja operação hidráulica possa afetar a operação de usinas existentes programadas e despachadas centralizadamente”.

Os principais objetivos do ONS são garantir a otimização da operação do sistema eletroenergético, visando assim reduzir custos para o sistema, com base nos padrões técnicos e critérios aprovados pela ANEEL. Adicionalmente, entre suas atribuições, o ONS desenvolve estudos e ações exercidas sobre o sistema elétrico nacional e seus agentes proprietários, visando assim gerenciar de forma eficiente as diferentes fontes de energia bem como a rede de transmissão, contribuindo dessa forma para garantir a segurança do suprimento de energia elétrica para todo o país.

II.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA HÍDRICO BRASILEIRO

De acordo com Empresa de Pesquisa Energética (2021), a principal característica do sistema brasileiro é ter um sistema hidrelétrico predominante. Atualmente a proporção de geração térmica vem aumentando e atingiu 15% nos últimos anos. A Tabela S1 no material suplementar apresenta a capacidade instalada para a geração de energia elétrica por tipo de sistema para o período de 2014 até 2020. Tendo como base o ano de 2020, verifica-se que predominam as usinas hidrelétricas, com 103.027 MW. Em segundo lugar, porém bem distante, estão as usinas eólicas com 17.131 MW. Na terceira posição está a utilização de biomassa com 15.011 MW, seguido pela utilização de termelétricas com base em gás natural com uma capacidade instalada para geração de energia elétrica igual a 14.927 MW.

Os sistemas hidrelétricos possuem duas características principais que os distinguem dos sistemas que utilizam outros tipos de tecnologias de geração. Em primeiro lugar, estão sujeitos às incertezas meteorológicas, já que a energia no sistema depende da quantidade de chuva nos períodos anteriores². Em segundo lugar, este tipo de geração tem baixo custo marginal de produção, mas altos custos irrecuperáveis devido ao grande investimento específico necessário para construir as usinas de geração.

Os altos custos irrecuperáveis dos investimentos em usinas de geração introduzem riscos consideráveis nas decisões de investimento. Para minimizar esses riscos é prática comum a contratação de consumidores (distribuidores de energia elétrica) no momento da decisão de investimento. De fato, a maioria das transações no mercado brasileiro são feitas por meio de contratos bilaterais de longo prazo. Para evitar o problema de os geradores contratarem um valor muito grande para sua capacidade, e assim expor o sistema a um risco significativo de ter um déficit de energia devido a uma estação seca imprevista, os reguladores estabeleceram um valor máximo que pode ser contratado por um gerador hidrelétrico por um ano. Isso é chamado de Energia Assegurada do gerador. Essa é a quantidade máxima que pode ser produzida que, dada a distribuição das chuvas na bacia hidrográfica, tem 5% de chance de ficar sem água para produzir energia elétrica – está abaixo da quantidade média de chuva que a bacia espera receber a cada ano, e é a quantidade que pode ser contratada no longo prazo. A ideia é garantir que os geradores não contratem mais do que provavelmente terão no reservatório no futuro (MOITA, 2008).

O custo marginal adequado de produção de um gerador hidrelétrico inclui o custo de oportunidade da água. O custo de oportunidade da água decorre do fato de o gerador ter um estoque limitado de água em seu reservatório, e quanto mais energia elétrica produzir, menos água terá para produção futura. Sem água na barragem o gerador não consegue produzir e conseqüentemente não tem receita. O estoque limitado de água representa uma troca entre a produção de hoje e a produção de amanhã e o custo de oportunidade é o custo de não ter água no futuro. Quanto mais água um gerador tiver em sua barragem,

² Isso não acontece com a geração térmica, onde o combustível geralmente está disponível no mercado.

menor será o custo de oportunidade de sua água. A expectativa de um preço mais alto no futuro também aumenta o custo de oportunidade da água.

Outro aspecto importante da geração hidrelétrica é a incerteza meteorológica. Existe o risco de um gerador não receber a quantidade esperada de chuva durante a estação chuvosa e, conseqüentemente, ter um baixo nível de água durante a estação seca. Usinas com baixos níveis de água têm um custo de oportunidade mais alto de produção de energia e, portanto, correm o risco de não conseguir vender eletricidade por longos períodos devido à baixa quantidade de chuva.

A incerteza meteorológica cria o risco de os geradores não serem despachados. Por exemplo, um gerador localizado em uma bacia hidrográfica que sofre uma seca prolongada pode não ser despachado pelo ONS por um longo período. Para minimizar esse tipo de risco e para lidar com o problema de mais de um gerador localizado em cascata no mesmo rio e as externalidades que o despacho de geradores a montante tem sobre os geradores a jusante, foi criada no Brasil um mecanismo de compartilhamento de risco denominado MRE (Mecanismo de Realocação de Energia).

O MRE é um mecanismo que busca garantir que os geradores recebam o valor correspondente à sua energia assegurada (o valor máximo que pode ser contratado pelos geradores), independentemente do resultado da otimização do sistema. Em outras palavras, o MRE realoca a energia transferindo a energia excedente daqueles que geraram acima da energia assegurada para aqueles que geraram abaixo do nível assegurado de acordo com o despacho ótimo. Assim, os geradores não são pagos por suas produções, mas pela energia assegurada e pela produção total do sistema. A geração total do sistema nesse período é agrupada, sendo alocada a cada gerador uma quantidade de energia gerada proporcional à sua energia assegurada no sistema.

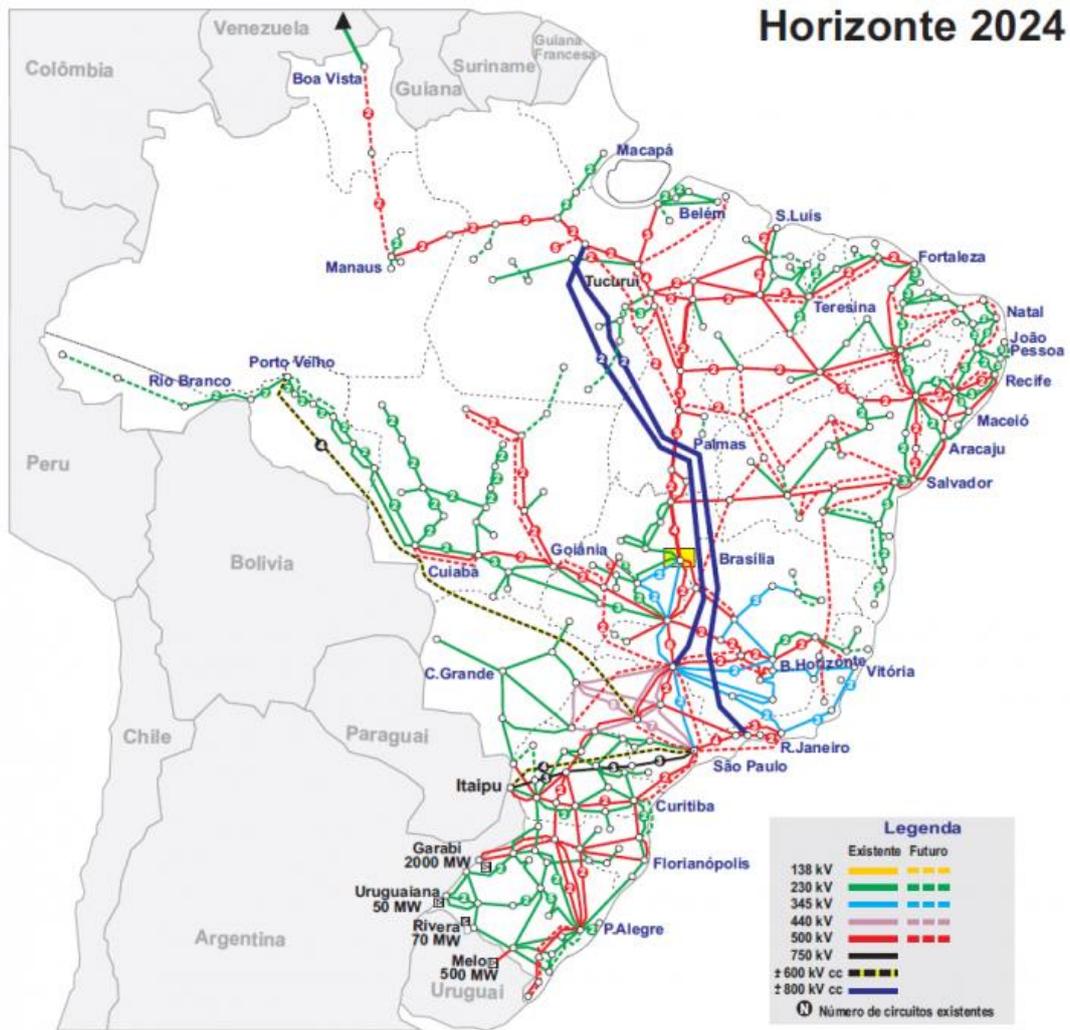
O MRE aloca a produção total entre os geradores, proporcionalmente à sua energia assegurada. Essa é a 'quantidade' produzida por cada gerador que o sistema usa para que a demanda de energia seja igual a oferta, fazendo com o que o mercado de energia esteja em equilíbrio. Após o MRE alocar a energia produzida, as transações são compensadas no MAE (Mercado Atacadista de Energia Elétrica)³. Os geradores que tiverem energia alocada inferior ao valor contratado devem comprar a diferença no mercado à vista pelo preço do MAE. Da mesma forma, geradores com alocação superior ao valor contratado devem vender o excedente no mercado à vista.

Como já detalhado, existem 4 submercados ou regiões elétricas dentro do mercado brasileiro: Norte, Sul, Sudeste/Centro-Oeste e Nordeste. Os submercados são definidos devido as restrições significativas e persistentes nas linhas de transmissão entre as regiões, em comparação com nenhuma restrição significativa dentro delas. Esses mercados podem ter preços *spot* diferentes nos horários de pico devido as restrições de transmissão. Os principais centros de carga estão localizados na região Sudeste, mas como as estações chuvosas ocorrem em diferentes épocas do ano no Sul e no Norte, o congestionamento pode ocorrer nos dois sentidos ao longo da linha de transmissão Norte-Sul.

A Figura 1 mostra a atual rede de transmissão brasileira e a projeção da rede até 2024. A parte superior do mapa mostra as regiões Norte e Nordeste, que se conectam ao sul do país por meio de uma única linha que passa pela capital Brasília. A parte vazia do mapa à esquerda é a região amazônica e consiste em pequenos sistemas não conectados entre si ou à rede principal.

³ O MAE, mercado atacadista de energia é uma bolsa de que reúne compradores e vendedores de blocos de energia. Fonte: ANEEL.

FIGURA 1– SISTEMA DE TRANSMISSÃO BRASILEIRO



Fonte: ONS – Operador Nacional do Sistema.

III. O MODELO E BASE DE DADOS

III.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

III.1.1 LITERATURA EX POST

Os estudos de avaliação *ex post* no setor de energia se concentraram preponderantemente no problema da eletrificação, com diversos casos mundiais estudados. Há diversas razões, que incluem a relação entre o acesso à energia elétrica e a desigualdade. Até 2016, cerca de 1 bilhão de pessoas não possuíam acesso à eletricidade no mundo (CHAKRAVORT et al., 2016). Contudo, a evolução da provisão de energia elétrica caminhou a largos passos durante a última década, diminuindo de forma substancial o déficit dessa infraestrutura básica, a qual, de acordo com a ONU⁴, em 2019, diminuiu para 759 milhões sem acesso à eletricidade.

⁴ Para mais informações, acessar: <https://brasil.un.org/pt-br/130381-acesso-eletricidade-avanca-mas-desigualdade-ainda-e-obstaculo-para-cumprir-meta-de-energia>

De fato, o acesso a eletricidade é uma questão fundamental na economia do desenvolvimento justamente por trazer visível melhoria da qualidade de vida das pessoas. A escassez de acesso é uma fonte de desigualdade e em diversos países há regiões onde a eletrificação ainda não foi alcançada por se tratar de áreas remotas, cujo custo é proibitivo e o perfil socioeconômico dos habitantes é majoritariamente pobre (CHAKRAVORTY et al, 2016).

Grogan e Sadanand (2013) avaliam os efeitos da eletrificação na zona rural da Nicarágua. Através da análise de dados da pesquisa do padrão de vida na Nicarágua, para o período de 1998 até 2005, os autores elaboraram um modelo de análise multivariada e verificam que, apesar da ausência de impacto sobre o nível de empregos dos homens, há elevação de 23% na quantidade de empregos para mulheres.

Na África do Sul, Dinkelman (2011) estuda os efeitos da eletrificação rural sobre o emprego. De acordo com o autor, a eletrificação não provocou grandes aumentos na demanda por mão de obra por meio da industrialização rural. Contudo, a eletrificação permitiu às famílias mudar a tecnologia da produção doméstica, com efeito significativo na oferta de mão de obra feminina local.

No Vietnã, Khandker et al. (2013) estudam o bem-estar da eletrificação rural. Através de um levantamento amostral realizado em dois períodos (2002 e 2005), os autores analisaram comunidades que já possuíam rede elétrica, outras comunidades programadas para receber o acesso e comunidades não programadas para receber tal acesso. Os resultados mostraram que a eletrificação dos lares pode elevar a renda em 28% e as despesas em 23%. O impacto mais forte, contudo, foi na frequência escolar das crianças, pois a eletrificação domiciliar aumentou a frequência escolar em 6,3 pontos percentuais para os meninos e 9,0 pontos percentuais para as meninas. Assim, a escolaridade dos meninos aumentou em 0,13 anos e a das meninas em 0,90 anos.

Nas Filipinas, Chakravorty et al. (2016) fazem uma avaliação dos custos e benefícios da extensão de eletricidade para a região pobre rural do país. Os autores mostram que os aumentos na renda agrícola parecem ser responsáveis por uma parcela significativa dos ganhos de renda com a eletrificação. Os achados sugerem que os benefícios para a eletrificação rural podem ser significativamente elevados, mesmo no curto prazo.

Na Índia, Samad e Zang (2016) examinam o impacto da eletrificação rural no bem-estar das famílias. Usando horas de disponibilidade como medida da confiabilidade do fornecimento de energia elétrica, os autores encontram que as paralisações têm efeito negativo sobre os resultados econômicos, com diminuição da renda per capita em 0,5% para cada hora adicional de paralisações. Reforçando o argumento, a eletrificação combinada com uma fonte de alimentação de 24 horas por dia está associada a um aumento de 17% na renda, enquanto a eletrificação isolada (com paralisações não controladas) está associada a apenas um aumento de 11%. Assim, o benefício agregado de obter eletricidade confiável na Índia rural é estimado em US\$ 11 bilhões por ano, com US\$ 4,7 bilhões referentes à taxa de acesso e US\$ 6,5 bilhões relacionados à melhoria da confiabilidade da oferta existente.

Outro estudo para Índia (CHAKRAVORTY et al., 2014) estimam o retorno à renda familiar devido à melhoria do acesso à eletricidade na Índia rural. A análise dos autores é baseada em duas rodadas de um painel representativo de mais de 10.000 domicílios e constatam que a conexão à rede aumenta a renda não agrícola dos domicílios rurais em cerca de 9% durante o período de estudo (1994-2005). De forma similar, a conexão à rede associada a uma maior qualidade de eletricidade (em termos de menos paralisações e mais horas por dia) aumentam a renda não-agrícola em cerca de 28,6% no mesmo período.

Já Van de Walle (2013) mostra efeitos da eletrificação na área rural da Índia para os períodos de 1981-82 e 1998-99. Os métodos utilizados foram Mínimos Quadrados Ordinários e Variáveis Instrumentais. Como resultados, observam-se elevação da renda familiar entre 9 e 11% e elevação da frequência de meninas em idade escolar em 9%, porém nenhum efeito sobre o comparecimento de meninos na escola.

No Brasil, os estudos mostraram grande evolução da eletrificação nas últimas décadas. Lipscomb et al. (2013) mostram os resultados desde 1960-2000. Os efeitos mostram melhoria ampla da produtividade do trabalho entre setores e regiões. Outros resultados sugerem ainda que a eletrificação de um município aumenta os valores de moradia em aproximadamente 9 mil reais, em média, ao longo de uma década (US\$ 4,9 mil com uma taxa de câmbio de 1,83 dólares a US\$ 1). Com uma média de 12.400 domicílios por município em 2000, há um aumento de US\$ 61 milhões no valor total da terra, em média, para os municípios quando recebem acesso à eletricidade.

Obermaier et al. (2012) buscam verificar os efeitos da eletrificação sobre o alívio da pobreza e o desenvolvimento sustentável. Através de um novo método de mensuração da equidade energética e de renda (método de curvas de densidade não paramétrica), os autores associam os resultados a um painel de dados de dois estados brasileiros situados na região nordeste do país e verificam que a população rural se conecta à rede logo após a eletrificação, aumentando continuamente o consumo ao longo dos anos, por passar a ter acesso a diversos benefícios relacionados à eletrificação.

Matosinhos et al. (2020) fazem avaliação da eficácia e da eficiência do programa “Luz Para Todos” nos 26 estados do país, de 2004 a 2014. Através da análise do número de conexões, dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), número de unidades consumidoras e consumo elétrico, foi criado um modelo não paramétrico de análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis*, DEA). Dentre os benefícios constatados oriundos da eletrificação destacam-se a compra de novos produtos por parte das famílias que vivem no meio rural, além da utilização de equipamentos para uso industrial, o que permitiu a ampliação de negócios no campo.

Como pode ser visto, os estudos de eletrificação chegaram, de certa forma, à saturação de resultados, uma vez que a prova dos benefícios reais da eletrificação sobre o bem-estar da sociedade é plenamente conhecida, reconhecidos academicamente e explorados por diversos autores. Ademais, para o caso brasileiro, desde 2010 o acesso da população à eletricidade é de ao menos 99,3%, sendo o último dado (2019) 99,8%, de acordo com dados do Banco Mundial⁵.

Neste sentido, estudos em outras temáticas vêm ganhando espaço ao longo dos últimos anos. Gualberti et al. (2014) fazem uma análise de painel sobre a relação entre a capacidade instalada de geração de energia elétrica, o financiamento de desenvolvimento comprometido com o setor energético e a formação bruta de capital fixo. Os autores verificam que a maioria dos agrupamentos de países e especificações de modelos (13 casos em 16 avaliados) há um efeito significativo e positivo dos recursos provenientes do “*Official Development Assistance*”⁶ (ODA) para produção de eletricidade sobre a base elétrica instalada, e que em termos de USD/kW os resultados são similares aos padrões internacionais. Ademais, a Formação Bruta de Capital Fixo das economias também está positivamente associada à quantidade de GW instalada.

⁵ Os Dados podem ser acessados em painel dinâmico, por país e data no site: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=BR>

⁶ ODA são recursos provenientes de: a) assistência bilateral entre países; b) subvenções e empréstimos de desenvolvimento concessional e não concessional por instituições financeiras multilaterais; c) outros fluxos oficiais para desenvolvimento.

Carfora et al. (2021) avaliam se a geração de uma maior parcela de energia renovável por um país aumenta a ODA alocada para energia e meio-ambiente pelos países doadores, e como a vulnerabilidade e o desenvolvimento social afetam a distribuição de fundos para esses países. Através de um painel de 85 países no período de 1995 e 2015, os resultados mostram que a ODA recebida pelos países em desenvolvimento tende a estar diretamente ligada à sua vulnerabilidade, mas inversamente ligada ao seu desenvolvimento social. Adicionalmente, os autores verificam o aumento da relevância desses fundos para financiamento de políticas de redução das emissões de gases de efeito estufa nos países em desenvolvimento.

Polzin et al. (2015) analisam o impacto das políticas públicas relacionadas a investimentos em energia renovável na capacidade de geração de energia elétrica feitas por investidores institucionais. Os autores investigam a influência de diferentes medidas políticas em uma amostra de países da OCDE para sugerir um mix de políticas eficaz para enfrentar falhas no mercado de energia limpa. Os resultados sugerem a definição de uma visão clara e objetivos políticos de longo prazo em relação às capacidades de energia renovável a serem instaladas no futuro, bem como transições complementares no setor de energia.

Em consonância com essa nova tendência de estudos e com o objetivo de explorar novas fronteiras de avaliação *ex post*, este estudo visa avaliar o efeito local da entrada das hidrelétricas em dimensões socioeconômica e ambientais locais. Para tanto, serão contextualizados os temas sobre hidrelétricas e relação com desenvolvimento econômico, assim como o desenvolvimento de projetos na região amazônica.

III.1.2 HIDRELÉTRICAS E DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS

A relação de causalidade entre criação de hidrelétricas e desenvolvimento de atividades econômicas no entorno das barragens é assunto emergente, sendo abordado de modo apenas marginal na literatura. Para compreender melhor esta relação, uma breve revisão bibliográfica foi realizada.

De acordo com os estudos de Ouyang et al. (2010), o mundo conta com mais de 40 mil hidrelétricas. Os autores contrapõem os evidentes benefícios econômicos e efeitos colaterais. Assim, como benefícios diretos, os pesquisadores apontam a produção de energia elétrica e captação de água, enquanto, de modo indireto, apontam as melhorias de condições de irrigação decorrentes de aumento das profundidades do lençol freático, o que por sua vez levam a um acesso mais conveniente às águas subterrâneas. Como resultado, as áreas agrícolas aumentam e os padrões de cultivo mudam, possibilitando exploração em larga escala de determinadas culturas. Como efeitos colaterais decorrentes da perturbação dos processos fluviais nas bacias hidrográficas associadas, em diversos rios as degradações eco ambientais afetam a cobertura regional da terra, o microclima, flora e fauna locais, além de ocasionar na maioria dos casos, o deslocamento de comunidades próximas a grandes barragens.

Algumas evidências empíricas na Índia corroboram as afirmações supracitadas. Com histórico relativamente longo de quantificação de florestas, o país desde 1925 viu reduzir a área florestal em cerca de 41 p.p., passando de 93,2% no início, para 52,1% em 2012 (RAMACHANDRAN et al., 2017). De acordo com os autores, o aumento de áreas inundadas ocasionou diminuição de áreas agrícolas familiares, mas também a elevação de plantações comerciais no distrito de Idukki, Kerala.

Ainda na Índia, na região Centro-Oeste de Ghats, alguns estudos projetam a perda da cobertura florestal de 66,55% a 56,76% até 2022 na zona costeira em decorrência do aumento da densidade populacional, com situação semelhante na região do Sahyadri, que deverá apresentar redução de 65,98% a 55,62% de declínio em decorrência da criação de barragens, projetos hidrelétricos e plantações de monocultura (RAMACHANDRA et al.,

2017). Além dos efeitos decorrentes da implantação das hidrelétricas e barragens em geral, há o efeito adicional da instalação de outros equipamentos de infraestrutura, como ferrovias que transpassam a área, como a Konkan, *National Highway 17* (NH-17, agora NH-66) de Goa a Udupi, *National Highway 63* (NH-63) de Hubli a Ankola, as quais também devem contribuir de forma significativa para a degradação florestal.

No caso brasileiro, há também diversos estudos que relacionam desenvolvimento de atividades econômicas e construção de barragens e hidrelétricas. Gracelli et al., (2020) fazem uma análise sobre desmatamento e reflorestamento da região do rio das Velhas, principal afluente do rio São Francisco. De acordo com os autores, no Brasil observa-se que o país perdeu expressivas áreas de cobertura vegetal natural em função de diversos fatores, entre os quais se destacam, a mineração, expansão das áreas decorrentes das atividades agrícolas e agropecuárias, construção de usinas hidrelétricas e expansão do setor urbano.

Marcon et al. (2020) analisam a dinâmica da paisagem no entorno da Usina Hidrelétrica Governador Bento Munhoz da Rocha Netto, localizada no município de Pinhão, estado do Paraná. Os autores corroboram as afirmações de Ouyang et al. (2010), sobre alterações do microclima em função do aumento da umidade, formação de nuvens, chuvas e evaporação. Além dos efeitos climáticos regionais, há ainda a alteração da dinâmica territorial local, já que o solo passa a ser ocupado por maiores espaços urbanos e industriais, áreas dedicadas à agricultura e outros fins produtivos. Nas palavras dos autores:

A construção de grandes lagos artificiais também altera os padrões de uso da terra, seja pelo progresso da região em termos industriais e turísticos ou mesmo devido à maior acessibilidade às áreas adjacentes [...]. Terras agrícolas que eram financeiramente marginais se tornam mais lucrativas, resultando em degradação do habitat florestal remanescente (MARCON et al., 2020).

Contudo, apesar da redução da área florestal, os autores observam que as taxas de desmatamento em áreas contíguas não são tão expressivas, permanecendo um efeito de retalhamento da paisagem.

Em decorrência do maior potencial hidrelétrico estar alocado na região norte, local que também apresenta a menor densidade populacional do país em virtude do bioma amazônico, uma grande parte dos estudos sobre desmatamento e evolução de atividades econômicas se concentra nesta região.

Souza et al. (2019) apontam que a Amazônia brasileira é uma das regiões que apresentam intensas mudanças em relação à cobertura florestal, em função da expansão da área agropecuária, e, também, em função da implementação de vários projetos de infraestrutura.

Siqueira-Gay et al. (2020) fazem um estudo qualitativo sobre fatores indutores de desmatamento relacionado à construção de obras de infraestrutura e efeitos de segunda ordem decorrentes da ação antropogênica. De acordo com os autores, a ocupação antropogênica nos últimos 50 anos foi causada principalmente por ações como a construção de estradas (FEARSNIDE 2008, SOARES-FILHO et al. 2004), projetos hidrelétricos (ATHAYDE et al. 2019), mineração (LOBO et al. 2018, SONTER et al. 2017, SOUZA-FILHO et al. 2016) e expansão agrícola (BROWN et al. 2016, SIMMONS et al. 2007, SIMON e GARAGORRY 2005), ações que por sua vez desafiam a conservação florestal local.

O estudo desenvolvido por Guerrero et al. (2020), analisa a utilização da terra, fazendo uma análise temporal na mudança de cobertura considerando um período de 33 anos, abrangendo o período de 1985 até 2018. Mais especificamente, com base em um conjunto de dados do MapBiomas, analisa os efeitos do Complexo Hidrelétrico do Braço Norte da

região amazônica brasileira sobre o processo de desmatamento em grande escala atuando como vetor para explicar a mudança da cobertura no uso da terra.

Os resultados do estudo mostraram que, a cobertura florestal mais afetada pela construção de hidrelétrica foi a área florestal, a qual, decaiu de 414 Km² para 287 Km², representando variação negativa igual a 69% em relação à área compreendendo florestas, sendo que, nesse caso, observa-se que a área com cobertura nativa foi substituída, principalmente, por pastagens para a criação de gado de forma extensiva, sendo que, nesse caso, a área com pastagens passou de 40 Km² para 229 Km², ou seja, variação de 664%. Outros impactos decorrentes da construção de hidrelétricas ocorreram em função da expansão de áreas urbanas, com o conseqüente aumento da demanda por alimentos.

Silva Junior et al. (2018) fizeram um estudo de casos múltiplos sobre as principais usinas hidrelétricas da região amazônica. As usinas hidrelétricas analisadas foram: Tucuruí (construção da primeira etapa entre 1975 e 1984, e segunda entre 1981 e 1989), Balbina (construção entre 1981 e 1989), Samuel (construção entre 1982 e 1989) e Belo Monte (construção começou em 2011 e entrou em operação em 2016).

A começar pelo primeiro projeto na região, a Usina de Tucuruí é considerado um caso emblemático, com pouca ênfase à questão da sustentabilidade ambiental em seu planejamento. Devido às estradas laterais construídas nas proximidades do lago, houve uma ocupação disfuncional ao seu redor, levando a uma extração excessiva de madeira (especialmente os tipos mais rentáveis), desencadeando um processo generalizado de degradação. Em 1974, havia menos de 1.000 km de rodovias e estradas na área. Em 2015, esse número aumentou para mais de 13.000 km, mostrando o quão intensa foi a apropriação do território.

No que diz respeito ao uso da terra em áreas protegidas, o desmatamento compreende cerca de 27% de seu território. Quando todos os 90.000 km², analisados em 2015, são incluídos no cálculo, a taxa de desmatamento chega a 52%. Ao analisar comparativamente os diversos tipos de áreas ao redor da usina de Tucuruí, observa-se que a vegetação é mais preservada em Reservas Indígenas, com apenas 1% de desmatamento. Esse índice é inferior ao observado em Unidades de Conservação (38%) para o ambiente circundante como um todo (52%). A maior taxa de desmatamento foi encontrada dentro dos projetos de assentamento do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), chegando a 57%. Na área analisada, segundo a base de dados do INCRA, há 241 projetos de assentamentos, totalizando 23.100 km² ou 25% do terreno considerado como terras circunvizinhas.

O caso de Balbina mostra outro caso em que a sustentabilidade ambiental é questionada. Devido a sua topografia plana e o pequeno tamanho da bacia do rio Uatumã, formou-se um lago de aproximadamente 2.360 km², enquanto a capacidade de geração elétrica é de 250 MW, implicando em 35 vezes mais área de floresta inundada por megawatt de capacidade instalada de geração do que o de Tucuruí. Contudo, diferentemente do observado em Tucuruí, as ações antropogênicas são bastante mais moderadas. Houve um crescimento moderado das estradas em Balbina. As estradas totalizaram aproximadamente 1.100 km em 1980, atingindo aproximadamente 3.000 km em 2015. Isso se deve principalmente à má ramificação da rodovia Manaus-Boa Vista (BR - 174) e à presença de áreas de uso restrito. A delimitação relativamente rápida de Unidades de Conservação e Reservas Indígenas contribuiu também para preservação da vegetação, além dos poucos projetos de assentamento habitacional do INCRA. Em termos numéricos, enquanto a média de desmatamento dentro dos assentamentos é de 7%, nas Unidades de Conservação é de 2%, enquanto nas Reservas Indígenas é de apenas 1%.

Para a Usina de Samuel, em Rondônia, a ocupação econômica da região precede com bastante antecedência a construção da hidrelétrica. Na década de 1980, a região

apresentava uma das maiores taxas de desmatamento do mundo. Quando a construção da usina começou, a população de Rondônia estava crescendo exponencialmente, a uma taxa de 16% ao ano, enquanto as áreas desmatadas estavam se expandindo em mais de 29% ao ano.

A disseminação de estradas em formação de “espinha de peixe” caracterizou a ocupação do estado de Rondônia. Antes da construção da UHE, havia aproximadamente 3.700 km de estradas nas proximidades. Segundo o IBGE, esse número foi próximo de 8.000 km em 2015. Com relação ao desmatamento, a perda de vegetação dentro dos 80 assentamentos do INCRA é de 57%, nas Unidades de Conservação é de 2%, enquanto nas Reservas Indígenas é de apenas 2%.

Um dos casos mais controversos, da Usina de Belo Monte, teve um desdobramento inusitado ao longo do desenvolvimento de seu projeto. Após profundas mudanças, houve limitações dos impactos que o projeto poderia causar ao meio ambiente e à população da região. A área alagada foi reduzida em 60% em relação ao projeto inicial, resultando em um reservatório de 516 km². Tecnicamente, o projeto passou de uma usina com reservatório para usina do tipo “fio d’água”, cuja produção é mais dependente do ciclo de chuvas para seu funcionamento.

De acordo com Feng et al. (2017), a construção de Belo Monte teve início em 2011. O processo de construção resultou em rápido processo de elevação da população local. Em 2010, a população na região era de 80 mil pessoas, passando para 150 mil pessoas em 2012 no município de Altamira, situado no estado do Pará. Esse acelerado processo de urbanização em curto espaço de tempo, gerou inúmeros problemas no que se refere ao planejamento e gestão do meio ambiente, exigindo monitoramento das mudanças da cobertura do solo urbano em altas resoluções temporais e espaciais.

As áreas do entorno de Belo Monte têm significativas taxas históricas de desmatamento, que começaram muito antes das obras e estão principalmente relacionadas às atividades agrícolas e projetos de colonização. A taxa de desmatamento na área em 2010, um ano antes do início da construção da hidrelétrica, já era de 19%, segundo dados do PRODES/INPE⁷.

Em 2010, o desmatamento foi de 17.198 km², com um aumento de 1,7 mil km² entre 2011 e 2015. Assim, o desmatamento total atingiu quase 19 mil km². Entre 2011 e 2015, o aumento do desmatamento foi ligeiramente superior a 10%. Ainda assim, o desmatamento acumulado no entorno de Belo Monte é de 30% nos assentamentos do INCRA e de 3% nas Unidades de Conservação, enquanto nas Reservas Indígenas é de apenas 1%.

III.1.3 CONTEXTO AMAZÔNICO

A ocupação territorial na região amazônica segue algumas especificidades por se tratar de patrimônio nacional definido constitucionalmente. Até meados dos anos 1960, as terras na região pertenciam à União e Estados, com 87% do território composto por florestas e terras incultas. Contudo, após instalação do modelo de desenvolvimento e integração nacional organizado pelo governo militar nos anos 1970, a configuração alterou-se, com crescimento de lavouras, zonas urbanas e industriais, tornando boa parte das terras, até então devolutas, em propriedades privadas.

O modelo desenvolvimentista estabeleceu no período diversos projetos de colonização, criando as raízes dos assentamentos na Amazônia. Sendo grande parte das famílias

⁷ Segundo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE: “O projeto PRODES realiza o monitoramento por satélite do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal e produz, desde 1988, as taxas anuais de desmatamento na região, que são usadas pelo governo brasileiro para o estabelecimento de políticas públicas”. Fonte: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

migrantes incentivadas pela disponibilidade de terras e crédito subsidiado, elas foram se instalando em assentamentos do INCRA, concentrados no entorno da BR-364 em Rondônia e ao longo da rodovia Transamazônica, no Estado do Pará.

De acordo com IMAZON (2012), paralelamente, a criação de áreas protegidas foi aos poucos sendo implementada pelos governos. Categoricamente, as áreas protegidas são mecanismos para salvaguardar os ecossistemas, biodiversidade, conservar o solo, bacias hidrográficas, entre outras especificidades. Adicionalmente, as áreas protegidas servem para assegurar a permanência e cultura de povos tradicionais de determinadas regiões, como indígenas, ribeirinhos e quilombolas, por exemplo.

Há, basicamente, duas formas de áreas protegidas. A primeira é por meio da criação das chamadas Unidades de Conservação (UC). De acordo com o IMAZON (2012):

As UCs podem ser classificadas em dois grupos: de Proteção Integral e de Uso Sustentável. Por sua vez, cada grupo é classificado em diversas categorias, de acordo com o grau e o tipo de restrição de uso.

As Unidades de Proteção Integral são aquelas destinadas à preservação da biodiversidade, sendo permitida somente a pesquisa científica e, em alguns casos, o turismo e atividades de educação ambiental, desde que haja prévia autorização do órgão responsável. Não envolve consumo, coleta, extração de produtos madeireiros ou minerais e não é permitida a permanência de populações – tradicionais ou não – em seu interior, com exceção dos Monumentos Naturais e Refúgios da Vida Silvestre. Na definição do SNUC, proteção integral é a “manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais”. As categorias deste grupo são: Estação Ecológica (Esec), Reserva Biológica (Rebio), Parque Nacional/Estadual (Parna/PES), Monumento Natural (Monat) e Refúgio de Vida Silvestre (RVS).

As UCs de Uso Sustentável são aquelas destinadas tanto à conservação da biodiversidade como à extração racional dos recursos naturais. Nessas Unidades são permitidos o turismo, a educação ambiental e a extração de produtos florestais madeireiros e não madeireiros, com base no manejo sustentável e de acordo com o plano de manejo da unidade. As populações denominadas tradicionais podem permanecer em seu interior, desde que realizem atividades sob regime de manejo, “de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável” (SNUC, 2002). As categorias deste grupo são: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), Floresta Nacional/Estadual (Flona/Flota), Reserva Extrativista (Resex), Reserva da Fauna (RF), Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS), Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

Outro método de criação de área protegida é através do estabelecimento de Terras Indígenas (TI). Até 2012, na Amazônia brasileira havia 414 TIs, somando 1.086.950 km², abrangendo 173 povos indígenas contactados e cerca de 46 grupos não contactados. O poder público através da Fundação Nacional do Índio (FUNAI) realiza o reconhecimento das áreas e suas homologações. Caso a área declarada possua ocupantes não índios,

cabe ao Estado realizar a indenização da terra e ao INCRA reassentar essa população em caráter prioritário (IMAZON, 2012).

Assim, até a elaboração do estudo do IMAZON (2012), as áreas protegidas somavam 2.197.485 km², cerca de 43,9% da região, ou 25,8% do território brasileiro. Ao todo, as UCs correspondiam a 22,2% do território amazônico enquanto as TIs contemplavam 21,7% da mesma região.

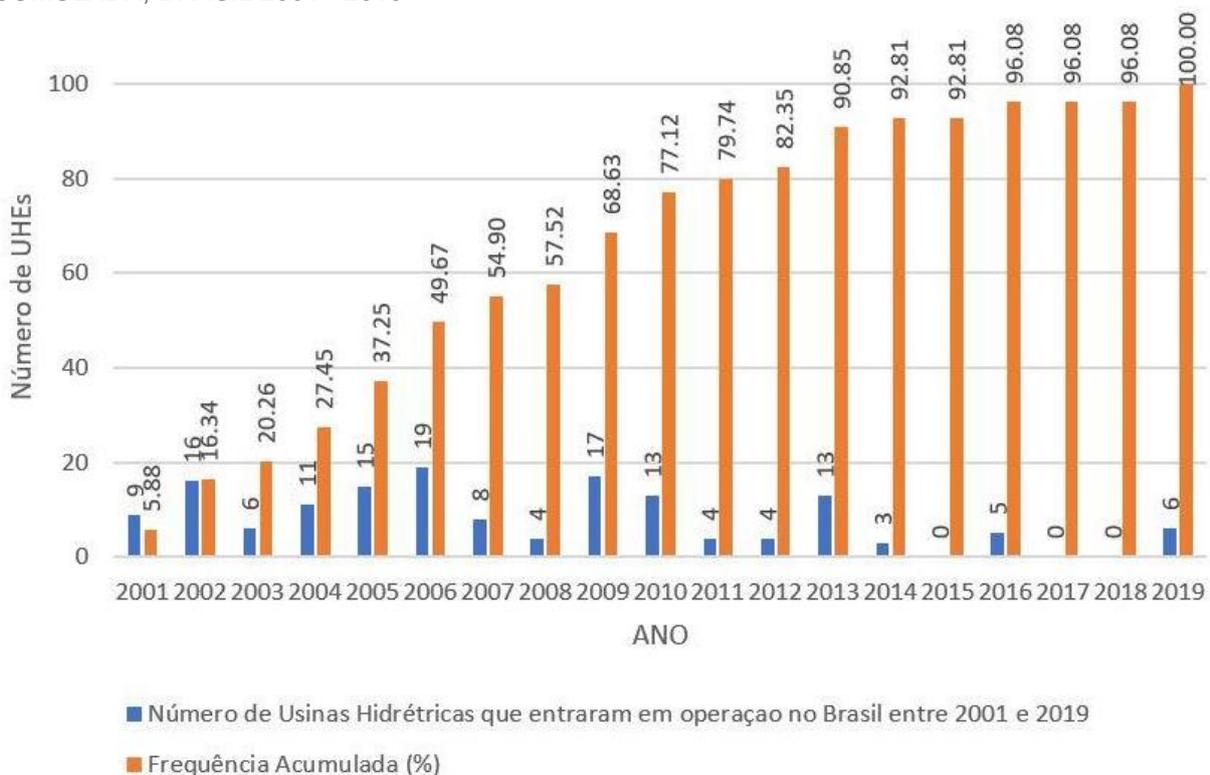
Assim, para realização de grandes projetos de infraestrutura, tais como a instalação de usinas hidrelétricas, o Governo deve respeitar as delimitações das áreas de proteção, assim como realizar o manejo dos projetos de assentamento agrícola estabelecidos pelo INCRA. No caso de alteração da configuração desses territórios, compensações podem ser feitas, como observado nas experiências relatadas por Silva Júnior (2018).

III.2 ESTRATÉGIA EMPÍRICA

A seção anterior mostrou que o processo de implantação das usinas hidrelétricas no Brasil tem sido um processo gradual e sequencial que se iniciou no século 19. Porém, mais de 50% das UHEs existentes no país foram construídas e começaram a entrar em operação apenas após o ano 2000. Assim, o período após o ano 2000 constitui um período de extrema importância para a expansão das hidrelétricas no Brasil.

A entrada em operação das UHEs após o ano 2000 também ocorreu de forma análoga. A Figura 2 apresenta o número de usinas hidrelétricas que entraram em operação no Brasil, e sua respectiva função acumulada, entre 2000 e 2020.

FIGURA 2 – NÚMERO DE USINAS HIDRÉTRICAS QUE ENTRARAM EM OPERAÇÃO E FREQUÊNCIA ACUMULADA, BRASIL 2001 - 2019



Fonte: ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico.

Tal figura mostra que entre 2001 e 2005 um total de 57 usinas hidrelétricas entraram em operação no país. Entre 2006 e 2010, foram 61 usinas que entraram e iniciaram as

operações. No período mais recente, entre 2011 e 2019, 35 usinas hidrelétricas entraram em operação no país. Assim, entre 2000 e 2020, 153 usinas hidrelétricas (UHEs) foram implantadas e começaram atividades no país.

A entrada em operação das 153 UHEs no Brasil entre 2001 e 2019 constitui um ambiente ideal para a implantação de uma estratégia de identificação causal denominada método de diferenças em diferenças do tipo *staggered*, sumarizados em Abadie e Cattaneo (2018) e Goodman-Bacon (2018).

A rigor, um modelo de estimação por diferença-em-diferenças do tipo *standard* procura comparar unidades tratadas e unidades controles antes e depois do tratamento. Com isso, é possível recuperar o efeito médio do tratamento sobre tratados. Como o modelo precisa de ao menos dois períodos de análise, faz-se uso da estrutura de dados em painel para controlar por fatores não observáveis que possam afetar os resultados (Abadie e Cattaneo, 2018). Já em um modelo diferenças-em-diferenças do tipo *staggered*, todas as unidades são tratadas em algum instante, mas em momentos distintos. Assim, o que se avalia é a diferença na trajetória de indicadores enquanto uns são tratados e outros, não (Goodman-Bacon, 2018)⁸.

A aplicação direta do método de diferenças em diferenças do tipo *staggered* na estimação dos impactos das UHEs sobre os municípios brasileiros implicaria que todos os municípios que receberam as UHEs seriam tratados em algum instante. Assim, grosso modo, os municípios que receberam as UHEs no início da amostra dos anos 2000 seriam unidades tratadas, e os municípios que receberam as UHEs nos períodos posteriores seriam unidades controles até o momento em que passaram a receber as UHEs. Contudo, em virtude da heterogeneidade entre os 153 municípios brasileiros que receberam as UHEs entre 2000 e 2020, tais municípios não são comparáveis entre si. Portanto, os municípios controles (municípios que receberam as UHEs nos anos posteriores) não serão bons contrafactuais para os municípios tratados (municípios que receberam as UHEs no início da amostra dos anos 2000).

Em virtude disso, nesse estudo adaptou-se o método de diferenças-em-diferenças do tipo *staggered* com objetivo de encontrar um grupo de municípios de controle que seja comparável ao grupo de municípios tratados. Essa adaptação ocorreu em duas etapas. A primeira etapa foi a escolha do grupo controle. Para cada município que recebeu uma UHE, foram considerados como potenciais controles todos os municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da UHE. A ideia é que os municípios que receberam a UHE tendem a ser mais parecidos com os seus vizinhos localizados não tão perto da UHE⁹. Note que queremos municípios de controle que sejam similares, e entendemos que a proximidade geográfica nos dá isso, mas ao mesmo tempo queremos que o grupo de controle não seja afetado pela entrada da usina na localidade. Por isso a faixa de 50 quilômetros entre tratado e controle.

A segunda etapa foi realização de um pareamento “1 para 1” no ano 2000 (período pré-tratamento para todos os municípios na amostra) entre os municípios tratados e os potenciais municípios controles localizados entre 50 e 75 km de distância da UHE,

⁸ A rigor, num modelo do tipo diferenças-em-diferenças do tipo *staggered* clássico, todas as unidades são tratadas em algum instante do tempo ao longo do período analisado. Contudo, existe uma versão ampliada do modelo de diferenças-em-diferenças do tipo *staggered* na qual são incluídas na amostra unidades que não são tratadas ao longo de todo o período analisado. Como será descrito abaixo, essa será a abordagem utilizada nesse estudo. Os benefícios dessa abordagem ampliada encontram-se nos parágrafos que se seguem.

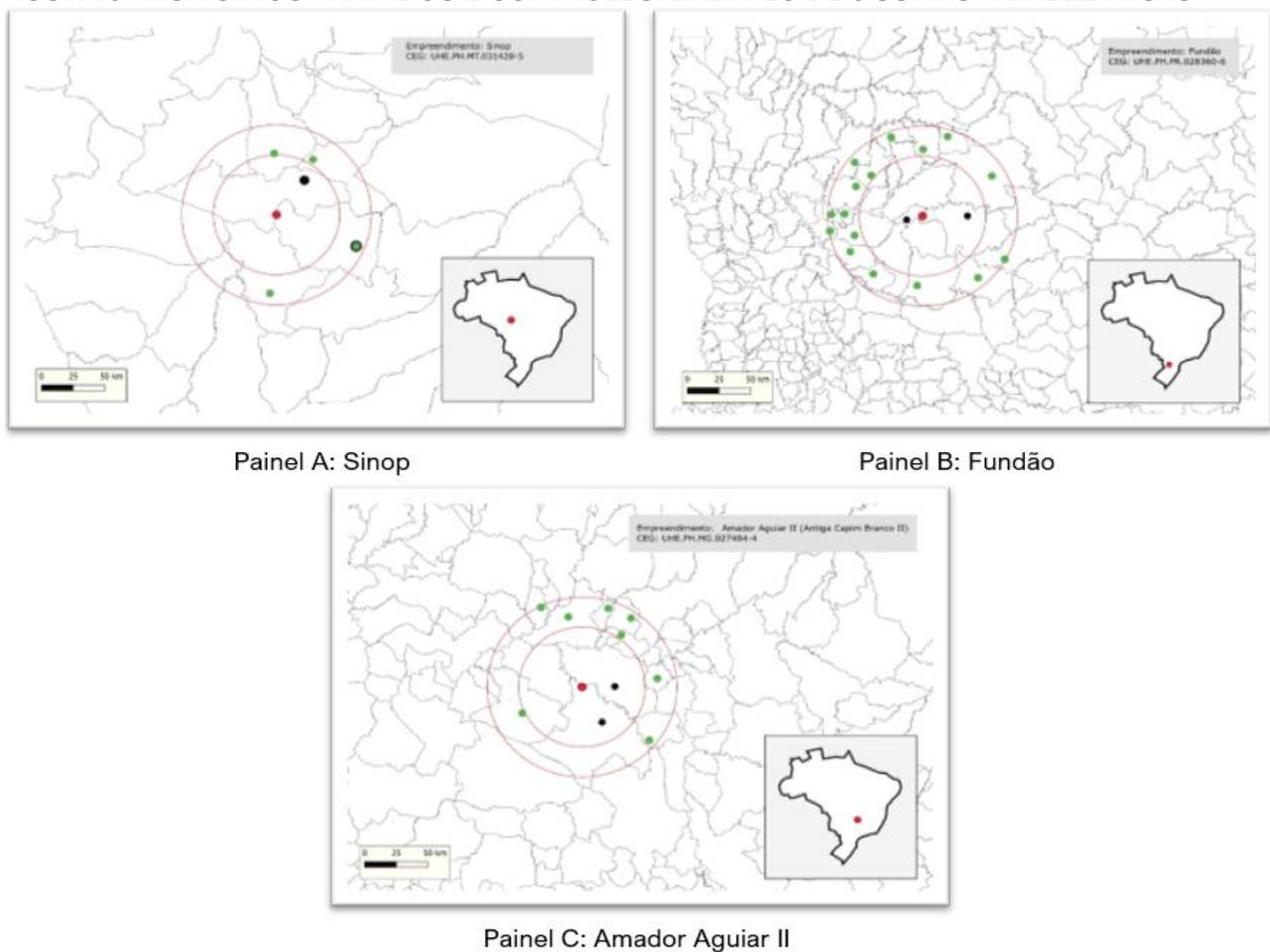
⁹ Como teste de robustez, foi considerado um outro grupo de controle composto por municípios situados entre 75 e 100 quilômetros da UHE.

utilizando a técnica de pareamento denominada CEM (*Coarsened Exact Matching*), desenvolvida por Blackwell, Iacus, King e Poro (2009). Tal técnica considera que unidades tratadas e controles são semelhantes se as variáveis se encontram dentro de um mesmo intervalo, otimamente determinado pela média e dispersão das variáveis analisadas. Através dessa técnica de pareamento, foi selecionado entre os potenciais controles aqueles municípios que são estatisticamente semelhantes aos municípios tratados no ano 2000 nas variáveis área de floresta, população, PIB real e PIB per capita.

Nesse trabalho, tal estratégia empírica será definida como o método de diferenças-em-diferenças do tipo *staggered*, combinado com um pareamento pré-entrada entre os municípios afetados pela entrada da UHE (tratados) com os municípios não afetados pela entrada (controles).

A Figura 3 ilustra os diferentes grupos tratados e controles utilizados nas estimações para 3 UHEs: Sinop, Fundão e Amador Aguiar II.

FIGURA 3– MUNICÍPIOS TRATADOS E CONTROLES: EXEMPLO DE 3 USINAS HIDRELÉTRICAS



Fonte: Elaboração própria

Em todos os painéis da Figura 3, o ponto vermelho refere-se à localização geográfica da UHE, e o ponto preto representa o centro do município que recebeu a UHE. Os círculos em vermelho possuem, respectivamente, um raio de 50 e 75 km. Portanto, municípios localizados entre os dois círculos (representados pelos pontos verdes) são potenciais municípios controles.

Após terem sido definidos os municípios tratados e controle segundo o procedimento acima, é estimada a seguinte equação:

$$Y_{ijt} = \alpha_i + \kappa_j + \delta_t + \beta_1 entrada_{ijt} + \beta_2 construção_{ijt} + \gamma X_{ijt} + \varepsilon_{ijt}, \quad (1)$$

na qual Y_{ijt} é a variável de resultado do município i , situado em torno da UHE j , no tempo t . As variáveis de resultados analisadas são: área de floresta, população, PIB real, PIB per capita e os índices de desenvolvimento dos municípios brasileiros. A variável $entrada_{ijt}$ é uma variável binária que é igual a 1 para os municípios tratados após o início da operação da UHE, e zero caso contrário. O coeficiente β_1 corresponde ao efeito da entrada em operação da UHE sobre a variável de resultado. A variável $construção_{ijt}$, é uma variável binária que é igual a 1 para os municípios tratados durante o período de construção da UHE (que corresponde a 5 anos antes do início da operação), e zero caso contrário. O coeficiente β_2 corresponde ao efeito da construção da UHE sobre a variável de resultado. A variável X_{ijt} representa uma variável de controle. Nas estimações, a variável de controle foram os *royalties* (compensações financeiras recebidas pelos municípios pela utilização dos recursos hídricos para geração de energia elétrica). Os termos α_i, κ_j e δ_t são, respectivamente efeitos fixos de tratamento (igual a 1 se o município i pertence ao grupo tratamento, e 0 caso contrário), efeitos fixos de usina hidrelétrica (igual a 1 se o município i pertence à UHE j , e 0 caso contrário), e efeitos fixos de ano. O termo errático ε_{ijt} possui média zero.

Vale notar que β_1 mede o efeito final da construção e operação da usina sobre a variável de interesse, enquanto β_2 mede o efeito da construção sobre essa variável. A diferença entre os coeficientes β_1 e β_2 , $(\beta_1 - \beta_2)$, é, portanto, o acréscimo ou decréscimo líquido do que ocorre com área de floresta, população, IDH, PIB e PIB per capita, quando da entrada em operação da UHE.

Podemos tentar diferenciar esses dois efeitos, construção e entrada em operação, da seguinte forma. No caso do efeito da construção, β_2 , temos principalmente o impacto que a obra da UHE tem sobre a atividade econômica, migração e desflorestamento do local da obra. A entrada em operação, β_1 , refere-se principalmente aos efeitos de segunda ordem frutos das atividades antropogênicas desde o período de início da operação, derivados da expansão da atividade econômica pós-UHE, sobre as áreas de floresta e população. Deve-se notar, porém, que quando a variável de interesse é o PIB e o PIB per capita municipal, o parâmetro β_1 se refere à variação líquida do PIB municipal provocado pelo início da produção de energia no município, pelo aumento da atividade econômica (efeitos de segunda ordem da presença da UHE) e pelo término da obra, efeitos que ocorreram desde o período de início da operação das UHEs¹⁰.

Alguns esclarecimentos são importantes no que tange a interpretação dos coeficientes β_1 , β_2 e $(\beta_1 - \beta_2)$, quando as variáveis de resultado são área de floresta e a população. O coeficiente β_2 refere-se à redução da área de floresta/aumento da população que ocorreu desde o início até o final da construção da UHE. Portanto, o coeficiente β_2 capta o efeito do desmatamento/aumento populacional provocado pela obra de construção UHE. O coeficiente β_1 refere-se à redução total da área de floresta/aumento da população que ocorre quando da entrada em operação da usina. Portanto, refere-se ao efeito final derivado direta, indiretamente e efeitos de segunda ordem da presença da UHE. Por fim, o coeficiente $(\beta_1 - \beta_2)$ refere-se, apenas, ao efeito de segunda ordem gerado pela entrada em operação das UHEs, portanto, fruto da expansão da atividade econômica pós-UHE, sobre a área de floresta e população municipal.

Note também que os coeficientes β_1 , β_2 e $(\beta_1 - \beta_2)$ se referem aos efeitos ao longo do período que os municípios foram tratados. Portanto, para se obter o efeito por ano, deve-

¹⁰ Uma avaliação *ex ante* de impacto de uma nova UHE que deseja utilizar os resultados desse estudo para calcular o efeito de segunda ordem da presença da UHE sobre o PIB e PIB per capita municipal deve subtrair do β_1 estimado nesse trabalho o valor da produção de energia a ser gerada no município com a instalação da UHE.

se dividir o efeito pelo número de anos tratados. O coeficiente β_1 deve ser dividido por 15 anos, que corresponde aos 5 anos de construção da UHE adicionado aos 10 anos, em média, de operação de uma UHE na amostra. O coeficiente β_2 deve ser dividido por 5 anos, e coeficiente $(\beta_1 - \beta_2)$ deve ser dividido por 10 anos para termos os efeitos anuais para as tais variáveis de estoque.

Vale destacar que o principal parâmetro de interesse no modelo da equação (1) é o parâmetro β_1 que mede o impacto total de longo prazo derivado da entrada da UHE sobre a variável de resultado.

Por fim, vale notar que na equação (1), a inclusão do efeito fixo de UHE κ_j tem papel importante nas estimações, uma vez que garante que sejam comparados tratados e controle dentro da área de influência de uma mesma UHE (isto é, β_1 , β_2 e $(\beta_1 - \beta_2)$ são efeitos intrausina).

Esse estudo também avalia se a entrada de UHEs gera importantes efeitos de transbordamento nos municípios vizinhos dos municípios que receberam as UHEs. Para isso, foram estimados os efeitos da entrada de uma UHE conforme equação (1) para 3 alternativos tipos de grupos de tratados: (i) os municípios em um raio de 15 km da UHE, (ii) os municípios que se situam até 25 km da UHE, e (iii) os municípios que se situam até 30 km da UHE. Nessas estimações, foi mantido como grupo de controle os municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da UHE e que são estatisticamente semelhantes aos municípios tratados no ano 2000 nas variáveis área de floresta, população, PIB real, PIB per capita.

Este estudo também estima o efeito do tamanho do reservatório de uma UHE sobre a área de floresta dos municípios tratados. Para tanto, foi utilizada a mesma estratégia empírica discutida acima e estimada a seguinte equação:

$$Y_{ijt} = \alpha_i + \kappa_j + \delta_t + \beta_3 \text{TamanhoReservatório}_{ijt} + \beta_2 \text{construção}_{ijt} + \gamma X_{ijt} + \varepsilon_{ijt}, \quad (2)$$

na qual $\text{TamanhoReservatório}_{ijt}$ é a variável que mede o tamanho do reservatório da UHE j , no município i , no período t . Tal variável é igual a zero para os municípios controle. Para os municípios tratados, tal variável é igual ao tamanho do reservatório após o início da operação da UHE e zero caso contrário. Vale notar que o principal parâmetro de interesse no modelo da equação (2) é o parâmetro β_3 que mede o impacto do tamanho do reservatório de uma UHE sobre a variável de resultado. Adicionalmente, a variável $\text{TamanhoReservatório}_{ijt}$ é uma variável contínua que mede a capacidade de produção média da usina ao longo do tempo. Por outro lado, a variável operação_{ijt} na equação (1) é uma variável discreta que assume valores iguais a 0 ou 1. Portanto, apesar de medirem o impacto da UHE, os parâmetros β_1 (na equação (1)) e β_3 (na equação (2)) referem-se a diferentes efeitos e possuem diferentes interpretações.

Por fim, este estudo ainda estima como a presença de unidades de conservação ambiental no município afetam o impacto da entrada de uma UHE sobre a área de floresta dos municípios tratados. Com esse objetivo, foi utilizada uma estratégia empírica semelhante a utilizada na equação (1), estimada a seguinte equação:

$$Y_{ijt} = \alpha_i + \kappa_j + \delta_t + \theta \text{unicons}_{it} + \beta_1 \text{entrada}_{ijt} + \beta_2 \text{construção}_{ijt} + \beta_4 \text{entrada}_{ijt} \cdot \text{unicons}_{it} + \beta_5 \text{construção}_{ijt} \cdot \text{unicons}_{it} + \gamma X_{ijt} + \varepsilon_{ijt}, \quad (3)$$

na qual unicons_{it} é a fração do município i no período t que é coberta por unidades de conservação ambiental. As demais variáveis foram descritas na equação (1). Note que na equação (3), os parâmetros β_1 e β_2 captam os efeitos exclusivos da entrada e da construção de UHEs sobre a variável de interesse Y_{ijt} , a área de floresta dos municípios. O parâmetro θ capta o efeito exclusivo da presença de unidades de conservação ambiental sobre a

variável de interesse. Por fim, o parâmetro β_4 (resp. β_5) capta o efeito combinado da entrada (resp. da construção) de UHEs e presença de unidades de conservação ambiental em município do sobre a área de floresta dos municípios, Y_{ijt} .

A equação (3) essencialmente estima o efeito heterogêneo da entrada e da construção de UHEs pela proporção da área do município coberta por unidades de conservação ambiental sobre a área de floresta dos municípios.

Derivando-se a equação (3) com relação à $entrada_{ijt}$, obtém-se o impacto total da entrada da UHE sobre a área de floresta dos municípios, Y_{ijt} é dada por:

$$\frac{\partial Y_{ijt}}{\partial entrada_{ijt}} = \beta_1 + \beta_4 unicons_{it}. \tag{4}$$

Pela equação (4), pode-se perceber que efeito da entrada da UHE sobre a variável de interesse é medido por β_1 adicionado ao efeito combinado da presença de unidade de conservação ambiental com a UHE, $\beta_4 unicons_{it}$. De forma semelhante, derivando-se a equação (3) com relação à $construção_{ijt}$, obtém-se o impacto total da construção da UHE sobre a área de floresta dos municípios, Y_{ijt} é dada por:

$$\frac{\partial Y_{ijt}}{\partial construção_{ijt}} = \beta_2 + \beta_5 unicons_{it}. \tag{5}$$

Assim, o efeito da construção da UHE sobre a variável de interesse é medido por β_2 adicionado ao efeito combinado da presença de unidade de conservação ambiental com a UHE, $\beta_5 unicons_{it}$.

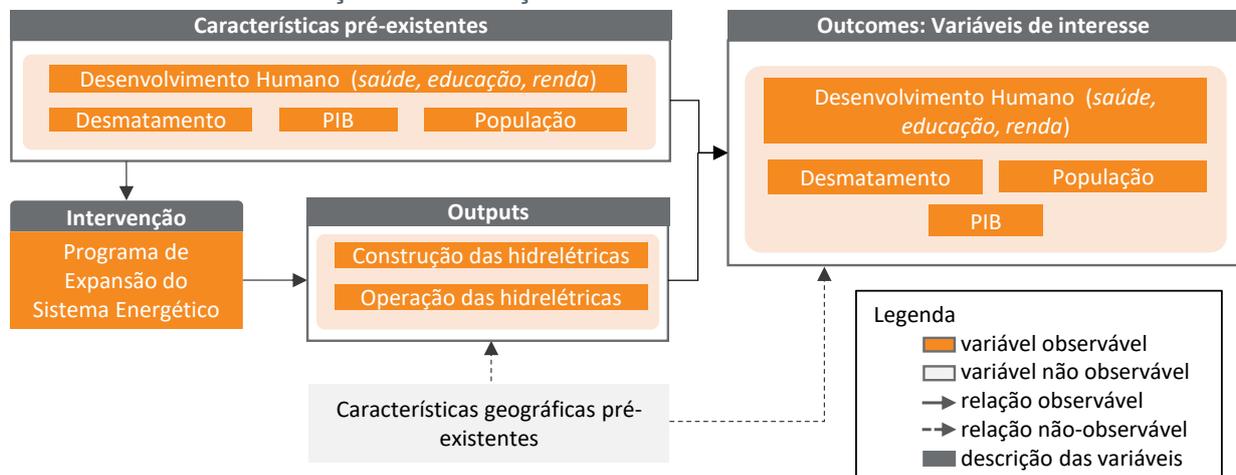
Por fim, a partir das estimações (4) e (5), pode-se estimar o efeito heterogêneo de segunda ordem derivado da expansão da atividade econômica pós-entrada de UHEs sobre a área de floresta dos municípios, que é dado pela equação abaixo:

$$(\beta_1 - \beta_2) + (\beta_4 - \beta_5) unicons_{it}. \tag{6}$$

Portanto, o efeito de segunda ordem derivado da entrada em operação da UHE sobre a variável de interesse é medido por $(\beta_1 - \beta_2)$ adicionado ao efeito combinado da presença de unidade de conservação ambiental com a UHE, $(\beta_4 - \beta_5) unicons_{it}$.

A Figura 4 apresenta um quadro resumo envolvendo o relacionamento entre as variáveis utilizadas nos modelos econométricos, ou seja, mostra como a construção/operação de uma usina hidrelétrica impacta as variáveis desmatamento, índices de desenvolvimento humano, PIB e população.

FIGURA 4 – GRAFO ACÍCLICO DIRIGIDO (DAG – DIRECTED ACYCLIC GRAPH) PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS



Fonte: Elaboração Pezco.

A Figura 4 apresenta o Grafo Acíclico Dirigido (DAG) que visa mapear o canal causal entre a construção ou operação das hidrelétricas brasileiras e as variáveis de interesse, tendo em vista a estratégia empírica adotada nesse estudo e as características observadas e não observadas que podem afetar as variáveis de interesse (selecionadas com base na literatura existente).

A DAG informa que, conforme a literatura existente (OUYANG et al. 2010; SOUZA et al., 2019; SIQUEIRA-GAY et al., 2020), tanto a construção como a operação de hidrelétricas afetam as variáveis de interesse como desmatamento, PIB, população e o nível de desenvolvimento humano (agregado ou nos seus componentes, saúde, educação e renda) nos municípios onde as hidrelétricas estão localizadas. Vale destacar que a construção e operação das hidrelétricas ocorrem em momentos distintos no tempo. Portanto, os seus efeitos causais sobre as variáveis de interesse serão de natureza distinta – como perturbações dos processos fluviais e degradações ambientais, entre outros (OUYANG et al., 2010).

Porém, a literatura relacionada também aponta que características observáveis pré-existentes dos municípios, tais como os níveis de desmatamento, de desenvolvimento humano, de renda e populacionais (SILVA JUNIOR et al., 2018; FENG et al., 2017; FEARNSIDE 2008, SOARES-FILHO et al. 2004; BROWN et al. 2016; SIMMONS et al. 2007; SIMON e GARAGORRY 2005; RAMACHANDRA et al., 2017), pré-instalação de hidrelétricas, também afetam a dinâmica da variáveis. Tal literatura também indica que características não observáveis podem afetar as variáveis de interesse. Tais relações e canais, descritas na DAG da figura 4, impõem a priori um desafio para estimação do efeito causal da construção e da operação das hidrelétricas brasileiras sobre as variáveis de interesse, uma vez que existem efeitos potencialmente confundidores observáveis e não observáveis (*backdoor path*). Para obter estimadores de efeito causal das hidrelétricas brasileiras sobre as variáveis de interesse, emprega-se uma estratégia empírica em dois estágios.

No primeiro estágio, realiza-se o pareamento, nas características observáveis descritas acima, entre municípios tratados e controles no período pré-construção das UHEs. No segundo estágio, emprega-se o método de diferenças-em-diferenças para estimação do efeito causal das hidrelétricas sobre as variáveis de interesse. No primeiro estágio, o pareamento garante que os municípios tratados e controles sejam semelhantes nos observáveis antes da construção das UHE. Isso irá assegurar que qualquer diferença que venha existir entre tratados e controle no período após o início da construção UHE não será fruto de diferenças pré-existentes entre municípios que receberam e não receberam a UHE. O segundo estágio irá garantir que, mesmo existindo diferenças não-observáveis entre municípios tratados e controle, o estimador de efeito causal das hidrelétricas sobre as variáveis de interesse pelo método de diferenças-em-diferenças é um estimador não viesado.

III.3 BASE DE DADOS

O fenômeno que analisamos é a construção e a entrada em operação de uma usina hidrelétrica (UHE) em determinada localidade, e o impacto que isso tem nos municípios próximos. Nossa hipótese central é que a entrada da UHE afeta uma série de indicadores do município em que ela se localiza, e que esse efeito pode transbordar para os municípios vizinhos. Além disso, pressupomos também que a entrada da UHE não afeta municípios mais distantes, mas que se localizam na mesma região. A seguir descreveremos os dados das UHE que compõe nossa amostra, e das variáveis afetadas pela construção e operação da UHE (*outcomes*).

Os dados das usinas hidroelétricas foram obtidos da base de dados de empreendimentos de geração da ANEEL, chamada de SIGA (Sistema de Informações de Geração da ANEEL)¹¹. Desta base utilizamos as seguintes informações sobre cada usina: a data da entrada em operação do empreendimento, a energia assegurada em MWh e a sua geolocalização. Esta última informação foi de vital importância para nossa estratégia de identificação, pois permite definir o nosso grupo de controle (municípios próximos) e o grupo de tratamento (municípios localizados em um raio mais afastado). Consideramos somente as UHE cuja entrada em operação ocorreu após 2000, até o ano de 2020.

O período de construção foi considerado como sendo os cinco anos anteriores ao ano de entrada em funcionamento. Essa hipótese é necessária pois essa informação não consta na base da ANEEL. É importante mencionar que municípios que são controles, podem aparecer como controle de mais de uma UHE. Neste caso replicamos estes municípios na nossa amostra, aparecendo o número de vezes que são controles.

A partir das informações obtidas pelo SIGA, identificou-se que o tempo médio (ao longo do período 2000 a 2020) em que os municípios se beneficiam da operação das UHEs foi de uma década. Isso significa que a duração total do tratamento dos municípios foi de 15 anos (5 de construção mais 10 de operação) e que a duração total na amostra do efeito pós-entrada em operação da UHE é de 10 anos.

Com relação às variáveis dependentes, os dados de PIB do município (em milhares de reais), deflator do PIB e população (número de habitantes), todos com frequência anual, são obtidos do IBGE. A série de dados de PIB municipal vai de 2002 até 2018. A série de população se inicia em 2000 e termina em 2016. Os dados de PIB nominal foram deflacionados pelo respectivo deflator para se obter o PIB real, tendo como base o ano de 2002. O PIB per capita (milhares de reais por habitante) foi obtido dividindo-se este último pela população do município naquele ano.

Dados sobre a área de floresta em hectare para cada município brasileiro são obtidos do Mapbiomas. O Mapbiomas é uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia, que revela as transformações do território brasileiro, tornando acessível o conhecimento sobre o uso da terra, a fim de buscar a conservação e combater as mudanças climáticas. O Mapbiomas produz mapeamento anual da cobertura e uso da terra desde 1985, valida e elabora relatórios para cada evento de desmatamento detectado no Brasil desde janeiro de 2019 e monitora a superfície de água e cicatrizes de fogo mensalmente desde 1985. A série utilizada nesse estudo cobre o período 2000 a 2020.

Para avaliar o impacto da entrada das UHEs em dimensões econômicas e sociais mais amplas dos municípios brasileiros, analisou-se os Índices de Desenvolvimento Municipal (IFDM) da FIRJAN. O IFDM é um índice de desenvolvimento econômico e social construído pela FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro) para cada município brasileiro para o período de 2005 e 2016. Tal índice possui frequência anual e avalia o desenvolvimento socioeconômico de todos os municípios brasileiros em três dimensões: Emprego & Renda, Educação e Saúde¹². A metodologia de construção do IFDM se assemelha a do IDH – Índice de Desenvolvimento Humano desenvolvido dentro do

¹¹ <https://www.aneel.gov.br/siga>

¹² O IFDM Emprego & Renda leva em conta os seguintes indicadores de emprego e renda: geração de emprego formal, taxa de formalização do mercado de trabalho, geração de renda, massa salarial real no mercado de trabalho formal, e índice de Gini de desigualdade de renda no trabalho formal. Esses indicadores são obtidos através do Ministério do Trabalho. O IFDM Educação considera os seguintes indicadores educacionais: atendimento à educação infantil, abandono no ensino fundamental, distorção idade-série no ensino fundamental, docentes com ensino superior no ensino fundamental, média de horas aula diárias no ensino fundamental, e resultado do IDEB no ensino fundamental. A fonte desses indicadores é o Ministério da Educação. Por fim, o IFDM Saúde considera os seguintes indicadores de saúde: proporção de atendimento adequado de pré-natal, óbitos por causas mal definidas, óbitos infantis por causas evitáveis, e internação sensível à atenção básica (ISAB). A fonte desses indicadores é o Ministério da Saúde.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). O índice varia de 0 (mínimo) a 1 ponto (máximo) para classificar o nível de cada localidade em quatro categorias: baixo (de 0 a 0,4), regular (0,4 a 0,6), moderado (de 0,6 a 0,8) e alto (0,8 a 1) desenvolvimento. Ou seja, quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento da localidade. No contexto desse estudo, a grande vantagem do IFDM em relação ao IDH é que o IFDM possui frequência anual, ao passo que o IDH possui frequência decenal (pois utiliza dados do Censo Demográfico Brasileiro). Em virtude disso, a uso do IFDM como medida de desenvolvimento econômico social dos municípios brasileiros permite a realização de uma melhor inferência estatística nas estimações econométricas.

Por fim, para estimar como a presença de unidades de conservação ambiental em município afeta o impacto da entrada de uma UHE sobre a área de floresta dos municípios (o efeito heterogêneo da entrada e da construção de UHEs), foram utilizados os dados geo estatísticos das unidades de conservação federais existentes no Brasil de 2000 a 2020. Esses dados foram obtidos através do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) do Ministério do Meio Ambiente. Tais dados contém informação sobre a área de cada unidade de conservação em cada município brasileiro. Combinando tal informação com a área total de cada município (disponibilizada pelo IBGE), calculou-se a proporção da área do município que é coberta por unidades de conservação ambiental.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

A Tabela 1 mostra as estatísticas descritivas para as variáveis utilizadas na amostra, enquanto a Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas quando dividimos a amostra em tratamento e controle.

TABELA 1– ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA

Variáveis	Observações	Toda Amostra			
		Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	25.847	9.691,52	14.041,86	886,00	471.693,00
Área de Floresta (hec)	25.847	14.139,76	34.721,60	111,80	910.850,10
PIB Real (R\$ mil)	22.846	75.284,94	194.644,10	3.651,17	6.332.367,00
PIB per capita (R\$ mil)	22.846	6,96	4,89	1,05	93,75
IFDM Firjan	17.803	0,69	0,09	0,19	0,91

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA 2- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO CONTROLE E GRUPO TRATAMENTO

Painel A		Grupo de Controle			
Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	24.814	9.207,98	12.060,06	886,00	292.074,00
Área de Floresta (hec)	24.814	11.946,75	19.402,42	111,80	359.657,30
PIB Real (R\$ mil)	21.936	70.069,99	184.277,60	3.651,17	6.332.367,00
PIB per capita (R\$ mil)	21.936	6,84	4,57	1,05	79,08
IFDM Firjan	17.081	0,69	0,09	0,19	0,91
Painel B		Grupo Tratamento			
Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	1.042	21.284,72	35.955,32	2.013,00	471.693,00

Área de Floresta (hec)	1.042	66.350,56	134.597,50	595,23	910.850,10
PIB Real (R\$ mil)	916	200.480,80	339.949,50	5.621,84	3.522.362,00
PIB per capita (R\$ mil)	916	9,84	9,42	1,76	93,75
IFDM Firjan	727	0,69	0,08	0,45	0,89

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

Conforme dados da Tabela 2, pode-se notar que o número de observações do grupo de controle é bastante superior ao do grupo de tratamento. Além disso, população, área de floresta, PIB e PIB per capita são maiores para o grupo de tratamento. Isso pode ser devido ao efeito do tratamento. Assim, na Tabela 3, são separados o grupo tratado em antes e depois do tratamento – painéis A e B – e o grupo de controle entre antes e depois de 2010 – painéis C e D – que é o período médio da amostra. Comparando os painéis A (tratados antes do tratamento) e C (controles antes de 2010), vemos que estes dois grupos não são *ex ante* iguais, havendo a necessidade de se controlar por eventuais diferenças que haja dentro dos dois grupos.

TABELA 3- ESTATÍSTICA DESCRITIVA – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO TRATAMENTO (ANTES E DEPOIS DO TRATAMENTO) E GRUPO CONTROLE (ANTES E DEPOIS DE 2010)

Painel A		Tratados Antes do Tratamento			
Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	345	17.219,42	27.139,96	2.013,00	180.227,00
Área de Floresta (hec)	345	88.267,17	160.700,50	5.952.282,00	910.850,10
PIB Real	252	118.793,10	193.124,70	5.621.844,00	1.118.944,00
PIB per capita	252	6,58	3,10	1,76	17,47
IFDM Firjan	136	0,64	0,08	0,45	0,83
Painel B		Tratados Depois do Tratamento			
Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	688	23.356,40	39.649,51	2.056,00	471.693,00
Área de Floresta (hec)	688	56.063,55	118.890,70	665,78	877.551,60
PIB Real	658	232.475,10	378.142,90	7.489,22	3.522.362,00
PIB per capita	658	11,10	10,68	1,85	93,75
IFDM Firjan	586	0,70	0,08	0,46	0,89
Painel C		Controle Antes de 2010			
Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	14.577	9.003,62	11.285,48	886,00	234.558,00
Área de Floresta (hec)	14.577	11.949,92	19.757,59	111,80	359.657,30
PIB Real	11.699	62.568,90	175.326,70	3.651,17	6.332.367,00
PIB per capita	11.699	6,16	3,90	1,05	79,08
IFDM Firjan	6.942	0,66	0,09	0,19	0,88
Painel D		Controle Depois de 2010			
Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	10.237	9.498,97	13.079,18	1.020,00	292.074,00
Área de Floresta (hec)	10.237	11.942,24	18.886,09	138.922,00	294.686,90
PIB Real	10.237	78.642,34	193.655,00	4.583,06	6.318.533,00
PIB per capita	10.237	7,62	5,12	1,25	68,24
IFDM Firjan	10.139	0,71	0,08	0,35	0,91

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

Comparando a evolução dentro de cada grupo, para os tratados podemos ver que a população aumenta, área de floresta diminui, o PIB e o PIB per capita quase dobram de magnitude, e o IFDM se eleva um pouco, após o tratamento. Para o grupo de controle, podemos ver que a população e a área de floresta se mantêm praticamente estáveis, enquanto PIB, PIB per capita e IFDM apresentam leve aumento.

IV.2 RESULTADOS PRINCIPAIS

Dividimos a análise econométrica do efeito da construção e entrada em operação da UHE em duas partes. Na primeira, estimamos o impacto que a UHE teve no município onde se localiza a usina. Na segunda, estimamos o efeito de transbordamento para os municípios vizinhos.

Vale destacar que, em virtude do pareamento, apenas 102 usinas das 153 UHEs instaladas serão analisadas. Isto porque 51 municípios onde estão localizadas as 51 UHEs não tiveram pareamento com os municípios do grupo de controle composto por municípios entre 50 e 75 quilômetros de distância da UHE.

IV.2.1 RESULTADO PRINCIPAL: IMPACTO NO MUNICÍPIO ONDE SE LOCALIZA A UHE

A Tabela 4 mostra o impacto da construção e entrada em operação em: área de floresta, população, PIB e PIB per capita. Conforme descrito na equação 1, foram utilizadas como variáveis de controle os efeitos fixos de tratamento (variável *tratados* na Tabela 4), e os royalties, que são compensações financeiras recebidas pelos municípios pela utilização dos recursos hídricos para geração de energia elétrica.

Os resultados mostram que o efeito da entrada da usina, que corresponde à soma do efeito da construção da usina e o efeito pós-construção da usina, provoca uma redução da área florestal de aproximadamente 18.000 a 21.000 hectares. Os resultados também indicam que no período da construção da UHE, a maior parte da redução da área florestal ocorre, com aproximadamente 15.000 hectares de redução em média, que corresponde a 70-80% do efeito total da entrada da usina, como mostrado nas colunas (1) e (2) da Tabela 4. Após o início da operação, a área de floresta se reduz em aproximadamente 3.000 a 6.000 hectares, algo equivalente a 20% e 30%.

As colunas (3) e (4) mostram que a população do município aumenta em cerca de 4500 habitantes, em média, no período da construção. Após a entrada em operação, a população se eleva em cerca de 7000 habitantes. O PIB municipal sofre um aumento robusto de mais de R\$ 80 milhões após a entrada em operação da UHE, como mostrado nas colunas (5) e (6). De maneira similar, o PIB per capita se eleva em mais de 1000 reais nos municípios que receberam a UHE.

Na tabela 5 procuramos introduzir no impacto da UHE na área de floresta do município. Para isso, usamos a energia assegurada do gerador, que é uma proxy para o tamanho do reservatório da UHE¹³. Como esperado, os resultados mostram que quanto maior o reservatório, maior a redução na área de floresta.

¹³ A energia assegurada, ou energia firme, é uma medida da capacidade de produção média da usina ao longo do tempo, incluindo períodos de seca. Essa medida é fortemente dependente da capacidade de estoque de água para produção de energia em períodos de estiagem e, portanto, pode ser usada como uma proxy para o tamanho do reservatório da UHE.

TABELA 4– IMPACTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE ÁREA DE FLORESTA, POPULAÇÃO, PIB E PIB PER CAPITA DOS MUNICÍPIOS

Variáveis	(1) Área de Floresta (hec)	(2) Área de Floresta (hec)	(3) População	(4) População	(5) PIB Real	(6) PIB Real	(7) PIB per capita	(8) PIB per capita
Entrada Usina (β_1)	- 17.996,9* *	-20.756,3**	7.621,2 ***	6.952,5* *	87.988,6***	82.543,8***	1,187**	1,066**
	(-2,59)	(-3,00)	(3,32)	(3,04)	(4,04)	(3,80)	(2,87)	(2,55)
Construção Usina (β_2)	- 14.983,3* (-1,86)	-15.134,0* (-1,88)	4.571,3 *	4.534,8* (1,81)	26.761,80 (1,22)	26.375,30 (1,20)	-0,35 (-1,05)	-0,36 (-1,07)
tratados	45.588,5* **	45.983,2***	6.398,3 ***	6.493,9* **	49.021,2**	49.938,7**	0,560**	0,580**
	(7,59)	(7,66)	(4,02)	(4,08)	(3,22)	(3,28)	(2,05)	(2,12)
Royalties		0,00320***		0,000775*** (7,36)		0,00615*** (5,63)		0,00000137** (2,87)
Pós-Entrada ($\beta_1 - \beta_2$)	-3.013,6 (-0,48)	-5.622,3 (-0,91)	3.049,8 (1,16)	2.417,7 (0,92)	61.226,9*** (2,67)	56.168,6*** (2,46)	1,53*** (4,17)	1,42*** (3,83)
Observações	25.847	25.847	25.847	25.847	22.846	22.846	22.846	22.846
R2	0,68	0,69	0,18	0,18	0,09	0,09	0,30	0,30

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros Robustos. Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA 5- IMPACTO DO TAMANHO DO RESERVATÓRIO DA USINA E DA CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE A ÁREA DE FLORESTA MUNICIPAL

Variáveis	(1) Área de Floresta (hec)	(2) Área de Floresta (hec)
Reservatório da Usina	-0,0446*** (-5,07)	-0,0579*** (-6,75)
Construção Usina	-7.219,80 (-1,13)	-6.893,00 (-1,08)
Tratados	37.787,2*** (11,35)	37.732,0*** (11,36)
Royalties		0,00331*** (9,60)
Observações	25.847	25.847
R2	0,68	0,69

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros Robustos. Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

A Tabela 6 estima o efeito heterogêneo da entrada e da construção de UHEs pela proporção da área do município coberta por unidades de conservação ambiental sobre a área de floresta dos municípios.

TABELA 6 - ESTIMAÇÃO DO EFEITO HETEROGÊNEO DA ENTRADA E DA CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) PELA PROPORÇÃO DA ÁREA MUNICIPAL COBERTA POR UNIDADES DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL SOBRE A ÁREA DE FLORESTA DOS MUNICÍPIOS

Variáveis	(1) Área de Floresta (hec)	(2) Área de Floresta (hec)
Entrada Usina (β_1)	-2.541,4** (-2,88)	-3.960,2*** (-4,43)
Construção Usina (β_2)	-1.051,4 (-1,11)	-1.366,6 (-1,44)
Entrada Usina x Preservação (β_4)	55.721,7** (2,31)	64.672,2** (2,62)
Construção Usina x Preservação (β_5)	-15.366,2 (-0,56)	-15.924,8 (-0,59)
Tratados	2.745,9*** (3,33)	2.870,4*** (3,5)
Royalties		0,00337*** (8,17)
Preservação	41.026,9*** (4,09)	41.524,4*** (4,12)
Pós-Entrada ($\beta_1 - \beta_2$)	-1.490,02** (-2,40)	-2.593,67*** (-4,11)
Pós-Entrada x Preservação ($\beta_4 - \beta_5$)	71.087,95** (2,13)	80.596,94** (2,40)
Observações	21.206	21.206
R2	0,579	0,594

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros Robustos. Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

A Tabela 7, mostra o índice de desenvolvimento municipal IFDM, tanto o geral nas colunas (1) e (2), como os específicos para educação (colunas 3 e 4), renda e emprego (colunas 5 e 6) e saúde (colunas 7 e 8). A construção e entrada em operação da UHE não tem impacto sobre estes indicadores, com exceção de saúde, onde o coeficiente obtido é marginalmente significativo na especificação que omite os royalties da regressão. Vale notar que os royalties têm um impacto positivo e significativo em todos os indicadores da Tabela 5. Isso

corroborar a ideia de que o maior impacto no desenvolvimento do município que recebe a UHE é decorrente dos royalties recebidos.

Em relação ao desmatamento, foram encontradas duas situações distintas. Na fase de construção, as estimações mostram que o efeito combinado da construção de UHEs e a presença de unidades de conservação ambiental sobre a área de floresta dos municípios não é significativamente diferente de zero. Isso indica que a presença de unidades de conservação em municípios não afeta o desmatamento gerado durante a construção da UHE¹⁴. Na fase de operação, por outro lado, as estimações mostram que esse efeito combinado é positivo e estatisticamente significativo, indicando que a presença de unidades de conservação reduz o desmatamento gerado nos municípios pela presença da UHE. Com isto, a presença de unidades de conservação seria capaz de reduzir o desmatamento gerado em decorrência da atividade econômica no município apenas após a entrada em operação de UHEs.

IV.2.2 TRANSBORDAMENTO PARA OS MUNICÍPIOS VIZINHOS

TABELA 7- IMPACTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE O ÍNDICE FIRJAN DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL GERAL E EM SEUS COMPONENTES (EDUCAÇÃO, RENDA E SAÚDE)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Variáveis	IFDM Firjan	IFDM Firjan	IFDM Firjan Educação	IFDM Firjan Educação	IFDM Firjan Renda	IFDM Firjan Renda	IFDM Firjan Saúde	IFDM Firjan Saúde
Entrada Usina (β_1)	0,01 (0,83)	0,01 (0,71)	0,00 (-0,32)	0,00 (-0,20)	0,01 (0,48)	0,01 (0,46)	0,0293* (1,65)	0,03 (1,47)
Construção Usina (β_2)	0,00 (-0,38)	0,00 (-0,38)	-0,01 (-0,55)	-0,01 (-0,55)	-0,01 (-0,72)	-0,01 (-0,72)	0,02 (0,93)	0,02 (0,93)
Tratados	0,00 (-0,42)	0,00 (-0,39)	-0,01 (-0,97)	-0,01 (-1,00)	0,02 (1,02)	0,02 (1,02)	-0,0322* (-1,87)	-0,0317* (-1,86)
Royalties		1,05e-09** (2,36)		-1,26e-09** (-2,52)		0,00 (0,46)		3,91e-09*** (4,71)
Pós-Entrada ($\beta_1 - \beta_2$)	0,01 (1,51)	0,01 (1,36)	0,00 (0,40)	0,00 (0,57)	0,02* (1,72)	0,02* (1,68)	0,01 (1,12)	0,01 (0,78)
Observações	17.803	17.803	17.903	17.903	18.179	18.179	18.288	18.288
R2	0,51	0,51	0,63	0,63	0,23	0,23	0,48	0,48

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros Robustos. Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

Sobre o efeito da UHE nos municípios vizinhos, a Tabela 7 considera o impacto da UHE para diversos grupos tratados na área de floresta. Da mesma forma, as Tabelas 8 a 13 medem o transbordamento para: área de floresta, população, PIB, PIB per capita e IFDM, variando o grupo tratado. Nestas tabelas, a coluna (1) mede o impacto no município que recebeu a UHE, como na Tabela 4. A coluna (2) inclui todos os municípios em um raio de 15 km da UHE, a coluna (3) inclui os que se situam até 25 km, e na coluna (4) até 30 km.

Na Tabela 8 podemos ver que o impacto na redução da área de floresta é substancialmente maior no município que recebeu a usina do que na média dos municípios localizados até

¹⁴ Um estudo futuro poderia avaliar mais detalhadamente como o efeito combinado da construção de UHEs e presença de unidades de conservação ambiental em município sobre a área de floresta dos municípios varia para diferentes regiões brasileiras. Tal análise seria interessante uma vez que as regiões do território brasileiro são heterogêneas com relação à presença de áreas de conservação.

15 km da UHE: uma redução de 20756 hectares contra 5687, respectivamente. Quando consideramos um raio de 25 km, a redução cai para 2690 hectares. Por fim, considerando um raio de 30 km a redução na área de floresta se assemelha à redução da área de floresta para os municípios localizados até 15 km da UHE: redução da área de floresta de aproximadamente 5000 hectares.

TABELA 8– ESTIMAÇÃO DOS EFEITOS DE TRANSBORDAMENTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE A ÁREA DE FLORESTA MUNICIPAL

	(1) Área de Floresta (hec)	(2) Área de Floresta (hec)	(3) Área de Floresta (hec)	(4) Área de Floresta (hec)
Controle: Municípios localizados entre 50 e 75km da usina hidrelétrica (UHE)				
Variáveis	Tratados: Município da UHE	Tratados: Município até 15 km da UHE	Tratados: Município até 25 km da UHE	Tratados: Município até 30 km da UHE
Entrada da Usina	-20.756,3** (-3,00)	-5.687,7*** (-3,74)	-2.690,4** (-3,19)	-5.100,5*** (-4,24)
Construção Usina	-15.134,0* (-1,88)	-2.834,1* (-1,75)	-540 (-0,59)	-2.562,3* (-1,92)
Tratados	45.983,2*** (7,66)	3.028,1** (2,05)	1.772,6** (2,32)	4.639,2*** (4,12)
Royalties	0,00320*** (9,62)	0,00326*** (9,62)	0,00344*** (8,26)	0,00355*** (7,52)
Observações	25.847	22.778	21.701	20.034
R2	0,69	0,58	0,60	0,61

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros Robustos.

No que diz respeito à população, podemos ver na Tabela 9 que a entrada da usina teve um efeito positivo elevado no próprio município (coluna 1), sem efeito num raio de 15 km (coluna 2), com efeito significativo, mas menor num raio de 25 km (coluna 3) e sem efeito em um raio de 30 km (coluna 4). De forma similar, durante o período de construção da UHE, tanto a população do próprio município quanto a dos municípios num raio de 25 km aumentaram.

TABELA 9 – ESTIMAÇÃO DOS EFEITOS DE TRANSBORDAMENTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE POPULAÇÃO MUNICIPAL

	(1) População	(2) População	(3) População	(4) População
Controle: Municípios localizados entre 50 e 75km da usina hidrelétrica (UHE)				
Variáveis	Tratados: Município da UHE	Tratados: Município até 15 km da UHE	Tratados: Município até 25 km da UHE	Tratados: Município até 30 km da UHE
Entrada da Usina	6.952,5** (3,04)	997,70 (1,27)	2.248,8** (2,67)	445,50 (0,18)
Construção Usina	4.534,8* (1,81)	1.130,70 (1,17)	2.323,2** (2,24)	1.656,90 (0,58)
Tratados	6.493,9*** (4,08)	-913,2** (-2,17)	-453,00 (-0,74)	5.300,4** (2,34)
Royalties	0,000775*** (7,36)	0,00109*** (16,25)	0,00152*** (10,62)	0,00127*** (9,60)
Observações	25.847	22.778	21.701	20.034
R2	0,18	0,18	0,13	0,106

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros robustos

Observamos o mesmo padrão para o PIB na Tabela 10. Um efeito bastante elevado no município da UHE, não significativo num raio de 15 km, positivo e significativo, mas menor para 25 km e não significativo para 30 km. Curiosamente, o período de construção somente mostra algum efeito marginalmente significativo quando consideramos os municípios em um raio de 25 km da UHE. Como isso não ocorre em outras especificações, não podemos afirmar que há efeito durante a construção.

A Tabela 11 mostra que o PIB per capita apresenta um aumento de pouco maior 1000 reais para todos os grupos de tratamento até 25 km, sendo menor que 1000, mas ainda significativo para o grupo de municípios num raio de 30 km.

Na Tabela 12 temos os resultados para o IFDM Firjan. Não há efeito no próprio município e tampouco para o raio de 15 km. No entanto, há um efeito positivo e significativo quando consideramos os grupos tratados até 25 km e 30 km. Esse é um resultado inesperado e novas investigações devem ser feitas para entender esse padrão.

Na Tabela 13 analisamos o impacto do tamanho da UHE na área de floresta dos municípios próximos. Os resultados mostram uma redução significativa na área de floresta da região próxima à UHE, para todos os grupos de controle considerados.

TABELA 10– ESTIMAÇÃO DOS EFEITOS DE TRANSBORDAMENTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE PIB MUNICIPAL

	(1) PIB Real	(2) PIB Real	(3) PIB Real	(4) PIB Real
Controle: Municípios localizados entre 50 e 75km da usina hidrelétrica (UHE)				
Variáveis	Tratados: Município da UHE	Tratados: Município até 15 km da UHE	Tratados: Município até 25 km da UHE	Tratados: Município até 30 km da UHE
Entrada da Usina	82.543,8*** (3,80)	-3.108,9 (-0,40)	34.225,4*** (3,71)	39.902,40 (1,26)
Construção Usina	26.375,30 (1,20)	1.000,20 (0,10)	21.004,5* (1,91)	55.936,60 (1,35)
Tratados	49.938,7** (3,28)	-2.540,4 (-0,45)	-6.054,4 (-1,00)	34.718,20 (1,24)
Royalties	0,00615*** (5,63)	0,0149*** (13,06)	0,0143*** (10,59)	0,0109*** (8,48)
Observações R2	22.846 0,09	20.141 0,13	19.182 0,11	17.691 0,06

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros Robustos.

TABELA 11– ESTIMAÇÃO DOS EFEITOS DE TRANSBORDAMENTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE PIB PER CAPITA MUNICIPAL

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)
	PIB per capita	PIB per capita	PIB per capita	PIB per capita
Controle: Municípios localizados entre 50 e 75km da usina hidrelétrica (UHE)				
	Tratados: Município da UHE	Tratados: Município até 15 km da UHE	Tratados: Município até 25 km da UHE	Tratados: Município até 30 km da UHE
Entrada da Usina	1,066** (2,55)	1,233** (2,28)	1,376*** (4,91)	0,858*** (3,77)
Construção Usina	-0,36 (-1,07)	0,50 (1,22)	0,680** (2,75)	0,297 (1,38)
Tratados	0,580** (2,12)	-0,204 (-0,74)	-0,659*** (-3,54)	-0,388** (-2,39)
Royalties	0,000000137** (2,87)	0,000000357*** (6,68)	9,60e-08** (2,49)	6,47E-08 (1,61)
Observações	22.846	20.141	19.182	17.691
R2	0,30	0,3	0,321	0,342

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros robustos.

TABELA 12– ESTIMAÇÃO DOS EFEITOS DE TRANSBORDAMENTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE O ÍNDICE FIRJAN DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)
	IFDM Firjan	IFDM Firjan	IFDM Firjan	IFDM Firjan
Controle: Municípios localizados entre 50 e 75km da usina hidrelétrica (UHE)				
	Tratados: Município da UHE	Tratados: Município até 15 km da UHE	Tratados: Município até 25 km da Usina	Tratados: Município até 30 km da Usina
Entrada da Usina	0,01 (0,71)	-0,00941 (-1,01)	0,0327** (2,58)	0,0261** (2,80)
Construção Usina	0,00 (-0,38)	0,01 (0,94)	0,0412** (3,04)	0,0330** (3,28)
Tratados	0,00 (-0,39)	-0,00422 (-0,48)	-0,0427*** (-3,41)	-0,0337*** (-3,70)
Royalties	1,05e-09** (2,36)	2,95e-09*** (6,22)	3,06e-09*** (5,71)	1,00e-09** (2,05)
Observações	17.803	15.695	14.970	13.793
R2	0,51	0,526	0,549	0,565

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros robustos.

TABELA 13– ESTIMAÇÃO DOS EFEITOS DE TRANSBORDAMENTO DO IMPACTO DO TAMANHO DO RESERVATÓRIO DA USINA E DA CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE A ÁREA DE FLORESTA MUNICIPAL

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)
	Área de Floresta (hec)	Área de Floresta (hec)	Área de Floresta (hec)	Área de Floresta (hec)
Controle: Municípios 50 - 75km da usina				
	Tratados: Município da UHE	Tratados: Município até 15 km da UHE	Tratados: Município até 25 km da UHE	Tratados: Município até 30 km da UHE
Reservatório da Usina	-0,0579*** (-6,75)	-0,00801*** (-3,97)	-0,00520*** (-3,70)	-0,0102*** (-6,57)
Construção Usina	(6.893,00) (-1,08)	361 (0,37)	839,4 (1,25)	-150,9 (-0,16)
Tratados	37732,0*** (11,36)	-172,1 (-0,26)	377 (0,91)	2184,6*** (3,76)
Royalties	0,00331*** (9,60)	0,00326*** (9,58)	0,00346*** (8,20)	0,00362*** (7,41)
Observações	25.847	22.778	21.701	20.034
R2	0,69	0,58	0,60	0,61

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001.

IV.2.3 ROBUSTEZ

GRUPO DE CONTROLE

Na Tabela 14 (Apêndice A) testamos a robustez dos resultados considerando um outro grupo de controle. Desta vez usamos os municípios situados entre 75 e 100 km da UHE como controle, e somente o município que recebeu a UHE como tratamento. Apesar de obtermos um coeficiente similar em magnitude, a entrada da UHE deixa de ser estatisticamente significativa para a redução da área de floresta, como mostrado na coluna (1). Os resultados se mantêm para população (coluna 2), PIB (coluna 3), PIB per capita (coluna 4), IFDM (coluna 5) e área de floresta quando usamos o tamanho do reservatório como variável de tratamento (coluna 6).

Apesar de alguma variação, esses resultados, juntamente com os resultados de transbordamento da subseção anterior, mostram que os resultados são robustos à diferentes especificações dos grupos de tratamento e controle.

CLUSTERIZANDO O ERRO PADRÃO

A Tabela 15 (Apêndice A) mostra a nossa especificação principal, mas clusterizando os erros padrão ao nível da UHE. Podemos ver que o resultado deixa de ser significativo para todas as variáveis analisadas. O mesmo padrão é observado na Tabela 16 (Apêndice A) para os vários índices Firjan, onde nenhuma especificação apresenta resultados estatisticamente significantes. O único resultado que se mantém marginalmente significativo é quando usamos o Reservatório da Usina como variável de tratamento, na Tabela 17 (Apêndice A).

Isso provavelmente se deve ao pequeno número de UHEs que entraram em operação entre 2000 e 2020: 102 UHEs entraram em operação nesse período e, portanto, temos 102 clusters.

IV.3 DISCUSSÃO

Nessa seção será discutida a magnitude dos impactos estimados causados pela construção e entrada em operação de usinas hidrelétricas sobre as variáveis socioeconômicas e ambientais analisadas, os quais foram apresentados nas Tabelas 4 a 7.

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos, será realizada uma análise de magnitude similar para os coeficientes β_1 , β_2 e $(\beta_1 - \beta_2)$. Por isso, vale lembrar que o coeficiente β_2 refere-se ao efeito ocorrido desde o início da construção até o final da construção e início da operação da UHE (instalação da UHE). Assim, coeficiente β_2 capta o efeito provocado pela UHE em si e pela sua construção. O coeficiente β_1 refere-se ao impacto que ocorreu desde o início da construção. Portanto, refere-se ao efeito final derivado direta, indiretamente e efeitos de segunda ordem da presença da UHE. Por fim, o coeficiente $(\beta_1 - \beta_2)$ refere-se a apenas ao efeito após início de operação das UHEs.

A análise das magnitudes será feita de forma sequencial: primeiramente analisadas a magnitude dos efeitos estimados do efeito total (β_1), construção (β_2) e pós-entrada em operação de UHEs ($\beta_1 - \beta_2$). Serão avaliados os efeitos

de magnitudes para as seguintes variáveis: (i) Área de Floresta, (ii) População, (iii) PIB real, e (iv) PIB per capita. Tais variáveis foram selecionadas, pois o efeito da entrada em operação de uma UHE sobre elas se mostrou persistentemente significativo em diversas estimações. Em particular, serão avaliados os efeitos estimados a partir no modelo que inclui a variável Royalties como controle. A inclusão de tal variável nas regressões pode atenuar um problema de variável omitida, que pode causar viés do coeficiente estimado; um problema não mitigado em um modelo sem a variável Royalties como controle.

O Painel A da Tabela 19 (Apêndice A) apresenta uma análise da magnitude dos efeitos estimados da entrada para as variáveis descritas acima. A coluna 1 da Tabela 19 apresenta a média anual de tais variáveis para os municípios tratados (i.e., municípios que receberam a UHE) antes de receberem o tratamento (i.e., antes da entrada da UHE), isto é, média anual de tratamento no pré-tratamento. A coluna 2 apresenta os coeficientes estimados para as variáveis analisadas, efeito estimado, os quais foram inicialmente reportados na Tabela 4. A coluna 3 apresenta a magnitude dos efeitos estimados que é medida pela razão entre o módulo do efeito estimado (coluna 2) e a média anual tratamento no pré-tratamento (coluna 1). A magnitude dos efeitos estimados apresentados na coluna 3 informa o percentual de aumento/redução da variável analisada que é causada pela entrada de uma UHE, em relação ao período anterior a entrada da UHE. A coluna 4 apresenta a magnitude dos efeitos estimados por ano tratado para as variáveis de estoque (isto é área de floresta e população), que é calculado dividindo-se a coluna 3 por 15 (que é tempo de que corresponde aos 5 anos de construção da UHE adicionado aos 10 anos, em média, de operação de uma UHE na amostra).

Corroborando os efeitos sobre expansão de áreas urbanas e mudanças antropogênicas em geral abordados por Guerrero et al. (2020), Souza et al. (2019) e Siqueira-Gay et al. (2020), os resultados do Painel A da Tabela 19 revelam que as magnitudes dos efeitos estimados são relevantes economicamente. Por exemplo, a entrada de uma UHE em um município faz com que, em média, provoque-se uma redução de 24% da área de floresta do município em relação ao período anterior, o que corresponde em média a uma redução de 2% da área de floresta por ano. Ademais, os resultados mostram que a população do município que recebeu uma usina UHE aumentou, em média, 40% em relação ao período anterior, o que corresponde em média a um aumento de 3% da população por ano¹⁵, efeitos similares aos observados por Ramachandran et al. (2017) e Ramachandra et al. (2017). Por fim, a entrada de uma UHE em um município faz com que, em média, ocorra um aumento de 69% e 16%, do PIB real e do PIB per capita, respectivamente.

Essa seção também apresenta uma análise da magnitude dos efeitos estimados do tamanho do reservatório (β_3), sobre a área de floresta do município que recebeu a UHE, cujos impactos estimados foram reportados na Tabela 6. Contudo, deve-se notar que não se pode utilizar o mesmo método de avaliação do efeito da entrada de uma UHE sobre a área de floresta (Painel A, Tabela 19) para acessar a magnitude do efeito do tamanho do reservatório sobre a área de floresta. Isto porque a variável Entrada Usina é uma variável discreta que

¹⁵ Segundo os dados do Censo Demográfico do IBGE, a taxa de crescimento anual da população brasileira é de 1,2% ao ano.

assume valores iguais a 0 ou 1, conforme descrita na seção de estratégia empírica. Por outro lado, a variável Tamanho do Reservatório é uma variável contínua, baseada na capacidade de produção média da usina ao longo do tempo. Assim, outra metodologia deverá ser utilizada para mensurar os efeitos do tamanho do reservatório sobre a área de floresta do município.

A magnitude do efeito do tamanho do reservatório sobre a área de floresta será medida pela diferença entre o tamanho do reservatório de um município no percentil 75 e de um município no percentil 25, multiplicada pelo efeito estimado na variável Tamanho do Reservatório, descrita na Tabela 6. Para identificar a relevância econômica do efeito, será computada a razão entre os módulos dos tamanhos dos reservatórios (descrita na sentença anterior) em relação ao tamanho do reservatório do município no percentil 25. Tal medida informa qual será a redução percentual da área de floresta em um município no percentil 25 de tamanho do reservatório, caso esse município passe a ter um reservatório igual a percentil 75. Tal metodologia foi inspirada em Banerjee et al. (2020) que desenvolveram um método de acessar a magnitude de estimações quando as variáveis de tratamento são variáveis contínuas.

Seguindo a metodologia descrita acima, o Painel B da Tabela 19 (Apêndice A) apresenta uma análise da magnitude dos efeitos estimados do tamanho do reservatório sobre a área de floresta do município que recebeu a UHE. Na coluna (5) e (6) da Tabela 19 (Apêndice A) são apresentados, respectivamente, o percentil 25 e 75 do tamanho do reservatório. Na coluna (7) é computada diferença entre o tamanho do reservatório de um município no percentil 75 e de um município no percentil 25. Na coluna (8) é apresentado o coeficiente estimado do tamanho do reservatório sobre área de floresta, o qual foi inicialmente reportado na Tabela 6. Na coluna (9) computa-se a magnitude do efeito que é calculado pela multiplicação do efeito estimado (coluna 7) e a diferença entre o tamanho do reservatório de um município no percentil 75 e de um município no percentil 25 (coluna 7). Por fim, na coluna 10, apresenta-se a magnitude do efeito em relação ao percentil 25. O resultado da coluna 8 mostra que a área de floresta em um município no percentil 25 de tamanho do reservatório reduzirá em 33% caso esse município passe a ter um reservatório igual a percentil 75. Este resultado sugere que o efeito do tamanho do reservatório sobre a área de floresta é bastante relevante do ponto de vista ambiental.

Por fim, no Painel C da Tabela 19 (Apêndice A) avalia-se a magnitude do efeito heterogêneo da entrada de UHEs pela proporção da área do município coberta por unidades de conservação ambiental sobre a área de floresta dos municípios. No Painel C será comparada a magnitude do efeito heterogêneo para um município com área coberta por unidade de conservação igual a média amostral (igual a 0,1%), com a magnitude do efeito heterogêneo para um município com área coberta por unidade de conservação igual a 1 desvio padrão (igual a 1,3%) acima da média amostral. Para tanto, partiremos da equação (4) que mostra que o efeito da entrada da UHE sobre a variável de interesse é medido por β_1 adicionado ao efeito combinado da presença de unidade de conservação ambiental com a UHE, $\beta_4 \text{ unicons}_{it}$. A coluna (12) da Tabela 19 (Apêndice A) apresenta a média amostral pré-tratamento da fração do município coberta por área de unidade de conservação para os municípios tratados na amostra. A coluna (13) calcula o efeito estimado por ano tratado para os municípios com área coberta por unidade de conservação igual a média amostral (igual a 0,1%)

utilizando a equação (4), e dividindo-se por 15 anos. A coluna (14) apresenta o desvio padrão pré-tratamento da fração do município coberta por área de unidade de conservação para os municípios tratados na amostra, que é igual a 1,3%. A coluna (15) calcula o efeito estimado por ano tratado para os municípios com área coberta por unidade de conservação igual a 1 desvio padrão (igual a 1,3%) acima da média amostral (também utilizando a equação (4), e dividindo-se por 15 anos). A coluna (16) calcula a diferença entre o efeito em um município com área coberta por unidade de conservação igual a 1 desvio padrão acima da média amostral (coluna 15), e o efeito em um município com área coberta por unidade de conservação igual a média amostral (coluna 14). Por fim, a coluna (17) compara tais efeitos. Os resultados indicam que um município com UHE e com área coberta por unidade de conservação em 1 desvio padrão acima da média amostral possui um desmatamento provocado pela UHE 20% menor que o desmatamento do município com UHE e coberta por unidade de conservação igual a média amostral. Este resultado sugere que a existência de unidades de conservação reduz sensivelmente a redução do desmatamento provocado pela UHE.

A Tabela 20 (Apêndice A) apresenta uma análise da magnitude dos efeitos estimados da construção para as variáveis de resultados analisadas. Os resultados da Tabela 20 (Apêndice A) também revelam que as magnitudes dos efeitos estimados da construção são relevantes economicamente. Por exemplo, a presença de uma UHE em um município faz com que, em média, provoque uma redução de 17% da área de floresta do município em relação ao período anterior à entrada da UHE ao longo do período tratado, que corresponde em média a uma redução de 3% da área de floresta por ano. Ainda, os resultados mostram que a população do município que recebeu uma usina UHE aumentou, em média, 26% em relação ao período pré-usina, que corresponde em média a um aumento de 5% da população por ano. Por fim, a entrada de uma UHE em um município faz com que, em média, ocorra um aumento de 22% e 5%, do PIB real e do PIB per capita, respectivamente¹⁶.

O Painel A da Tabela 21 (Apêndice A) apresenta uma análise da magnitude dos efeitos pós-entrada em operação UHEs para as variáveis de resultados analisadas. Os resultados do Painel A da Tabela 21 (Apêndice A) revelam que as magnitudes dos efeitos estimados após início da operação da UHE são relevantes, porém mais modestos que os efeitos da construção/instalação da UHE. Por exemplo, entrada em operação de uma UHE em um município faz com que, em média, ocorra uma redução de 6% da área de floresta do município em relação ao período anterior à entrada da UHE ao longo do período tratado, o que corresponde em média a uma redução de 1% da área de floresta por ano. Ainda, os resultados mostram que a população do município que recebeu uma usina UHE aumentou, em média, 14% em relação ao período pré-usina, o que corresponde em média a um aumento de 1% da população por ano. Por fim, a

¹⁶ Não se avaliou a magnitude do efeito heterogêneo da construção/presença de UHEs pela proporção da área do município coberta por unidades de conservação ambiental sobre a área de floresta dos municípios pois estimativas da Tabela 18 mostram que o efeito combinado da construção de UHEs e presença de unidades de conservação ambiental em município sobre a área de floresta dos municípios é não significativamente diferente de zero. Portanto, a presença de unidades de conservação em municípios não afeta o desmatamento dos municípios gerado durante a construção da UHE

entrada de uma UHE em um município faz com que, em média, ocorra um aumento de 22% e 5%, do PIB real e do PIB per capita, respectivamente.

O Painel B da Tabela 21 (Apêndice A) avalia a magnitude do efeito heterogêneo pós-entrada em operação de UHEs pela proporção da área do município coberta por unidades de conservação ambiental sobre a área de floresta dos municípios. Os resultados indicam que um município com UHE e com área coberta por unidade de conservação em 1 desvio padrão acima da média amostral possui um desmatamento – provocado pela UHE 39% menor que o desmatamento do município com UHE e coberta por unidade de conservação igual a média amostral. Este resultado sugere que a existência de unidades de conservação nos municípios reduz significativamente o desmatamento induzido, fruto da expansão de atividades econômicas pós-UHE.

Comparando os resultados das Tabelas 19 a 21 (Apêndice A), pode-se concluir que o principal efeito de uma UHE sobre a redução da área de floresta e da população de município ocorre desde o início da construção até o início da operação da UHE (70% e 65% do efeito total da área de floresta e população, respectivamente), embora os efeitos no desmatamento e no aumento populacional provocados pela atividade econômica pós-UHE sejam também relevantes (30% e 35% do efeito total, respectivamente). No que se refere-se ao PIB, o efeito induzido pela presença UHE é o principal fator para o crescimento da renda total do município, com 62% do efeito total; enquanto o efeito da construção e início da operação da UHE corresponde a 38% do PIB. Magnitudes semelhantes foram obtidas para o PIB per capita. Por fim, os resultados mostram que a existência de unidades de conservação nos municípios reduz significativamente o desmatamento dos municípios, principalmente o efeito induzido pela expansão de atividades econômicas pós-UHE.

IV.4 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Nesta seção será ressaltada a magnitude dos efeitos da implantação gradual e sequencial das UHEs que entraram em operação no país entre 2000 e 2020 sobre as variáveis analisadas de forma aplicada. Tal seção tem como objetivo apresentar parâmetros que possam ser utilizados em análises de impacto *ex ante* de novas UHEs que venham a ser construídas no país.

Conforme apontado na seção de “Discussão”, os números mostram de forma consistente uma possível aplicação direta dos múltiplos encontrados neste estudo para futuros estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) de UHEs. Em termos práticos, os números da Tabela 4 são informativos para se calcular o potencial impacto da construção de uma UHE sobre área de floresta, população, PIB e PIB per capita no município que recebe nova UHE. A partir das magnitudes da Tabela 20 (Apêndice A), podemos concluir que a construção de uma UHE em um município provocou, em média, uma redução de 17% da área de floresta existente no município ao longo de todo o período. Ademais, a população do município que recebeu uma nova UHE aumentou, em média, 26%. Por fim, os municípios que receberam uma nova UHE tiveram um aumento de 22% e 5%, do PIB real e do PIB per capita, respectivamente, durante a construção da UHE.

Este estudo também produz parâmetros que auxiliarão na mensuração *ex ante* dos potenciais efeitos pós-construção/entrada em operação de uma UHE. Os dados da Tabela 21 (Apêndice A) revelam que a área de floresta do município

que recebe a UHE deverá se reduzir em 1% por ano após a entrada em operação de uma nova UHE, exceto se na presença de unidade de conservação. Ainda, os resultados indicam que a população do município que receberá uma nova usina UHE tende a aumentar em 1% ao ano. Por fim, um município que receberá uma nova UHE terá provavelmente um aumento de 5% e 2%, ambos por ano, do PIB real e do PIB per capita, respectivamente.

Os números da Tabela 19 (Apêndice A) são úteis para mensurar os potenciais efeitos finais (isto é, de longo prazo) da construção e entrada em operação de uma nova UHE e conseqüentemente a ação antropogênica (SIQUEIRA-GAY et al, 2020). Os dados dessa tabela mostram que uma nova UHE tende provocar uma redução de 2% da área de floresta por ano. Ainda, o município que receberá uma nova UHE deverá observar um aumento populacional de 3% da população por ano. Por fim, uma nova UHE tende a elevar o PIB real e do PIB per capita de um município que recebeu a UHE em 5% e 1% por ano, respectivamente.

Contudo, deve-se destacar que as magnitudes de impacto das UHEs foram calculadas em termos médios para a realidade brasileira na amostra analisada. Como o potencial energético brasileiro concentrado na região norte do país, devem-se considerar os dados com parcimônia, considerando as realidades locais. Por exemplo, se há assentamentos do INCRA, se a região de implantação da UHE está contida em uma Unidade de Conservação (UC) ou se há planejamento governamental para que se crie uma UC em torno do empreendimento, se há intervenções antropogênicas, entre outros fatores.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo estimou o impacto da entrada das usinas hidrelétricas (UHEs) sobre variáveis socioeconômicas e ambientais dos municípios brasileiros. Explorando a implantação gradual e sequencial de 102 UHEs que entraram em operação no Brasil entre 2000 e 2020, o estudo utilizou o método de diferenças em diferenças do tipo *staggered*, combinado com um pareamento pré-entrada entre os municípios afetados pela entrada da UHE (tratados) com os municípios não afetados pela entrada (controles), para estimar o efeito da entrada das UHEs sobre a área de floresta, população, PIB real, PIB per capita e sobre índices de desenvolvimento dos municípios brasileiros.

As estimações mostram que entrada de uma UHE em um município provoca aumento da sua população, PIB e PIB per capita. Porém, a entrada de UHEs causa uma redução importante da área de floresta dos municípios que receberam as UHEs, efeito observado graças à grande concentração de projetos relevantes recentes em áreas de cobertura vegetal relevantes como a Amazônia.

Os resultados mostram que as magnitudes dos efeitos estimados das entradas das UHE sobre as áreas de floresta, população, PIB e PIB per capita nos municípios que receberam as usinas hidrelétricas foram economicamente relevantes. Isto porque a entrada de uma UHE em um município faz com que, em média, ocorra uma redução de 20% da área de floresta do município em relação ao período anterior a entrada da UHE. Ainda, os resultados mostram que a população do município que recebeu uma usina UHE aumenta, em média, 40% em relação ao período pré-usina. Por fim, a entrada de uma UHE em um

município faz com que, em média, ocorra um aumento de 69% e 16%, do PIB real e do PIB per capita, respectivamente.

Decompondo o efeito da entrada da UHE no efeito derivado da construção da UHE e no efeito da expansão da atividade econômica pós-UHE, pode-se concluir que o principal efeito de uma UHE sobre a redução da área de floresta e da população de município ocorre desde o início da construção até o início da operação da UHE (70% e 65% do efeito total da área de floresta e população, respectivamente), embora os efeitos no desmatamento e no aumento populacional provocados pela atividade econômica pós-UHE sejam também relevantes (30% e 35% do efeito total, respectivamente). No que se refere-se ao PIB, o efeito induzido pela presença UHE é o principal fator para o crescimento da renda total do município, com 62% do efeito total; enquanto o efeito da construção e início da operação da UHE corresponde por 38% do PIB. Magnitudes semelhantes foram obtidas para o PIB per capita.

Contudo, as estimações mostram que não há evidência robusta de que a entrada das UHEs tenha afetado o nível de desenvolvimento dos municípios medido pelo Índice FIRJAN de Desenvolvimento Humano (IFDM), e pelos seus subíndices de Emprego & Renda, Educação e Saúde.

Os resultados também indicam que o tamanho do reservatório de uma UHE tem um efeito significativo na redução da área de floresta dos municípios. As estimações mostram que a área de floresta em um município no percentil 25 de tamanho do reservatório reduzirá em 33% caso esse município passe a ter um reservatório igual ao do percentil 75. Este resultado sugere que o efeito do tamanho do reservatório sobre a área de floresta é bastante relevante do ponto de vista ambiental.

Por fim, os resultados também mostram que a existência de unidades de conservação nos municípios reduz significativamente o desmatamento dos municípios, principalmente o efeito fruto da expansão de atividades econômicas pós-UHE.

Nesse estudo também se avalia se a entrada de UHEs gera importantes efeitos de transbordamento nos municípios vizinhos dos municípios que receberam as UHEs. Para isso, foram estimados os efeitos da entrada de uma UHE sobre 3 diferentes grupos de municípios: os municípios em um raio de 15 km da UHE, os municípios que situam até 25 km da UHE, e os municípios que situam até 30 km da UHE. Para tanto, também foi utilizada o método de diferenças em diferenças do tipo *staggered*, combinado com um pareamento pré-entrada entre os municípios dos 3 grupos acima com os municípios não afetados pela entrada (municípios localizados entre 50 e 75 km de distância da UHE). Em linhas gerais, os resultados mostram um aumento da população, PIB e PIB per capita, e redução da área de floresta dos municípios localizados até 25 km. Tais resultados indicam que existem importantes efeitos de transbordamento das UHEs nos municípios sob seu raio de influência.

Por fim, como teste de robustez, foi considerado um outro grupo de controle composto por municípios situados entre 75 e 100 km da UHE. Os principais resultados são semelhantes aos resultados descritos anteriormente. Isso indica que os resultados obtidos nesse estudo são robustos às diferentes especificações dos grupos de controle.

Os resultados sugerem uma recomendação de política de planejamento energético importante para o desenvolvimento econômico do país: de que as usinas hidrelétricas têm impacto relevante no crescimento da economia local e devem ser acompanhadas de políticas céleres de definição de áreas protegidas – neste caso, evidenciado apenas pelos efeitos sobre as unidades de conservação, já que a disponibilidade de dados para reservas indígenas era limitada e não foi, portanto, abordada.

Para concluir, vale destacar que os impactos estimados nesse estudo não servem apenas para avaliar o impacto das 102 UHE instaladas no Brasil entre 2000 e 2020, mas também podem servir como parâmetro em futuras avaliações de impacto *ex ante* da construção de novas UHEs no território brasileiro que se assemelham às analisadas nesse estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIE, Alberto; CATTANEO, Matias D. Econometric methods for program Evaluation. *Annual Review of Economics*, v. 10, p. 465-503, 2018.

ATHAYDE, S., DUARTE, C.G., GALLARDO, A.L.C.F., MORETTO, E.M., SANGOI, L., DIBO, A.P.A., SIQUEIRA-GAY, J. & SANCHEZ, L.E. 2019. Improving policies and instruments to address cumulative impacts of small hydropower in the Amazon. *Energy Policy* In Press (May):265–271.

BROWN, D.S., BROWN, J.C. & BROWN, C. 2016. Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon. *Land use policy* 54:331–338.

CARFORA, Alfonso; SCANDURRA, Giuseppe; THOMAS, Antonio. Factors affecting official development assistance distribution. A panel investigation. *Journal of Cleaner Production*, v. 304, p. 126970, 2021.

CHAKRAVORTY, Ujjayant; Emerick, Kyle; and RAVAGO, Majah-Leah. Lighting up the last mile: The benefits and costs of extending electricity to the rural poor. Washington, DC: Discussion Paper: June 2016.

CHAKRAVORTY, Ujjayant; PELLI, Martino and MARCHAND, Beyza Ural. Does the Quality of Electricity Matter? Evidence from Rural India. *Fondazione Eni Enrico Mattei: Nota di Lavoro*, 11, 2014.

DINKELMAN, Taryn. The effects of rural electrification on employment: New evidence from South Africa. *American Economic Review*, v. 101, n. 7, p. 3078-3108, 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2021 ano base 2020. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 1 de mar. 2022.

ESFERABLOG. Despacho centralizado: entenda como o ONS coordena a geração das usinas. Disponível em: <https://esferaenergia.com.br/blog/despacho->

KHANDKER, Shahidur R.; BARNES, Douglas F. and SAMAD, Hussain. Welfare Impacts of Rural Electrification: A Panel Data Analysis from Vietnam. *Economic Development and Cultural Change*, Volume 61, Number 3, April. 2013.

LIPSCOMB, Molly; MOBARAK, A. Mushfiq and BARHAM, Tania. Development Effects of Electrification: Evidence from the Topographic Placement of Hydropower Plants in Brazil. *American Economic Journal: Applied Economics*, Vol.5, n.2, April 2013, p.200-231.

LOBO, F.D.L., SOUZA-FILHO, P.W.M., NOVO, E., CARLOS, F.M. & BARBOSA, C.C.F. 2018. Mapping Mining Areas in the Brazilian Amazon Using MSI / Sentinel-2 Imagery (2017). *Remote Sens.* 10(1178):1–14.

LOUREIRO, Violeta Refkalefsky; PINTO, Jax Nildo Aragão. A questão fundiária na Amazônia. *Estudos avançados*, v. 19, p. 77-98, 2005.

MARCON, A. K., GALVÃO, F., MATIAS, R. A. M., BLUM, C. T., BOTOSSO, P. C., MARTINS, K. G. Dinâmica da paisagem no entorno de uma usina hidrelétrica no estado do Paraná, Brasil. *Scientia Forestalis*, 48(126), 2020.

MATOSINHOS, Lívia Aladim; LAVORATO, Mateus Pereira e SILVEIRA, Suely de Fátima Ramos. AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA E DA EFICIÊNCIA DO PROGRAMA LUZ PARA TODOS. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, V. 16, N. 3, P. 239-250, set-dez/2020.

MOITA, Rodrigo MS. Entry and externality: Hydroelectric generators in Brazil. *International Journal of Industrial Organization*, v. 26, n. 6, p. 1437-1447, 2008.

OBERMAIER, Martin; SKLO, Alexandre; ROVERE, Emilio Lèbrel and ROSA, Luiz Pingueli. An assessment of electricity and income distributional trends following rural electrification in poor northeast Brazil. *Energy Policy*, Volume 49, October 2012, Pages 531-540.

OUYANG, Wei et al. Vegetation response to 30 years hydropower cascade exploitation in upper stream of Yellow River. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, v. 15, n. 7, p. 1928-1941, 2010.

POLZIN, Friedemann et al. Public policy influence on renewable energy investments—A panel data study across OECD countries. *Energy policy*, v. 80, p. 98-111, 2015.

RAMACHANDRA, T. V. et al. Modelling the forest transition in Central Western Ghats, India. *Spatial Information Research*, v. 25, n. 1, p. 117-130, 2017.

RAMACHANDRAN, Reshma M.; REDDY, C. Sudhakar. Monitoring of deforestation and land use changes (1925–2012) in Idukki district, Kerala, India using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 45, n. 1, p. 163-170, 2017.

RUD, Juan Pablo. Electricity provision and industrial development: Evidence from India. *Journal of Development Economics*, Volume 91, Issue 2, March, 2012, 352-367.

SAMAD, Hussain A.; ZHANG, Fan. Benefits of electrification and the role of reliability: evidence from India. World Bank Policy Research Working Paper, n. 7889, 2016.

SILVA JUNIOR, Orleno Marques da et al. Protected areas as strategies for preserving vegetation cover in the vicinity of hydroelectric projects in the Brazilian Amazon. *Energy, Sustainability and Society*, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2018.

SILVA JUNIOR, Orleno Marques da; DOS SANTOS, Marco Aurelio; DOS SANTOS, Leonardo Sousa. Spatiotemporal patterns of deforestation in response to the building of the Belo Monte hydroelectric plant in the Amazon basin. *Interciencia*, v. 43, n. 2, p. 80-84, 2018.

SIMMONS, C.S., WALKER, R.T., ARIMA, E.Y., ALDRICH, S.P. & CALDAS, M.M. 2007. The amazon land war in the south of Pará. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 97(3):567–592.

SIMON, M.F. & GARAGORRY, F.L. 2005. The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon. *Environ. Conserv.* 32(3):203–212.

SIQUEIRA-GAY, Juliana et al. Caminhos de cenários positivos para a floresta Amazônica no estado do Pará, Brasil. *Biota Neotropica*, v. 20, 2020.

SOARES-FILHO, B., ALENCAR, A., NEPSTAD, D., CERQUEIRA, G., DEL CARMEN VERA DIAZ, M., RIVERO, S., SOLÓRZANO, L. & VOLL, E. 2004. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá corridor. *Glob. Chang. Biol.* 10(5):745–764.

SONTER, L.J., HERRERA, D., BARRETT, D.J., GALFORD, G.L., MORAN, C.J. & SOARES-FILHO, B.S. 2017. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. *Nat. Commun.* 8(1):1013.

SOUZA, Carlos M. et al. Long-term annual surface water change in the Brazilian Amazon Biome: potential links with deforestation, infrastructure development and climate change. *Water*, v. 11, n. 3, p. 566, 2019.

SOUZA-FILHO, P.W.M., DE SOUZA, E.B., SILVA JÚNIOR, R.O., NASCIMENTO, W.R., VERSIANI DE MENDONÇA, B.R., GUIMARÃES, J.T.F., DALL'AGNOL, R. & SIQUEIRA, J.O. 2016. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. *J. Environ. Manage.* 167:175–184.

VAN DE WALLE, Dominique P. et al. Long-term impacts of household electrification in rural India. World Bank Policy Research Working Paper, n. 6527, 2013.

APÊNDICE A: TABELAS, QUADROS E FIGURAS

RESULTADOS PRINCIPAIS

TABELA 14- TESTES DE ROBUSTEZ PARA O IMPACTO ESTIMADO DA ENTRADA, CONSTRUÇÃO E DO TAMANHO DO RESERVATÓRIO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE ÁREA DE FLORESTA, POPULAÇÃO, PIB, PIB PER CÁPITA E O IFDM FIRJAN DOS MUNICÍPIOS. GRUPO TRATAMENTO (MUNICÍPIOS NO QUAL A

Variáveis	(1) Área de Floresta (hec)	(2) População	(3) PIB Real	(4) PIB per capita	(5) IFDM Firjan	(6) Área de Floresta (hec)
Entrada Usina	-20.685,5 (-1,63)	10.000,0** (2,23)	112.453,6*** (3,87)	2,182*** (4,57)	0,0370*** (4,34)	
Reservatório da Usina	NA	NA	NA	NA	NA	-0,0390** (-2,79)
Construção Usina	-16.941,4 (-1,20)	1.991,2 (0,45)	28.876,9 (0,98)	0,67 (1,42)	0,0225** (2,25)	-6.498,8 (-0,63)
tratados	69.177,2*** (6,03)	12.281,3*** (3,43)	63.016,9** (2,96)	-0,274 (-0,79)	-0,0290*** (-3,72)	58.449,6*** -10,52
Royalties	0,000707*** (5,59)	0,000272*** (8,21)	0,00275*** (7,18)	4,80e-08*** (4,67)	9,22e-10*** -4,94	0,000719*** (5,57)
Observações	43.893	43.893	38.788	38.788	30.296	43.893
R2	0,84	0,361	0,24	0,23	0,44	0,84

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros Robustos.

TABELA 15– TESTES DE ROBUSTEZ DO IMPACTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE ÁREA DE FLORESTA, POPULAÇÃO, PIB E PIB PER CAPITA DOS MUNICÍPIOS. ERROS CLUSTERIZADOS POR UHE.

Variável	Área de Floresta (hec)	Área de Floresta (hec)	População	População	PIB Real	PIB Real	PIB per capita	PIB per capita
Entrada Usina	-17.996,9 (-1,01)	-20.756,3 (-1,14)	7.621,2 (1,43)	6.952,5 (1,30)	87.988,6 (1,57)	82.543,8 (1,47)	1,19 (1,37)	1,07 (1,22)
Construção Usina	-14.983,3 (-1,08)	-15.134 (-1,10)	4.571,3 (1,24)	4.534,8 (1,23)	26.761,8 (0,94)	26.375,3 (0,93)	-0,35 (-0,79)	-0,36 (-0,81)
tratados	45.588,5** (2,29)	45.983,2** (2,31)	6.398,3* (1,67)	6.493,9* (1,69)	49.021,2 (1,50)	49.938,7 (1,53)	0,56 (1,08)	0,58 (1,13)
Royalties		0,00320* (1,84)		0,000775** (2,29)		0,00615* (1,98)		0,00 (1,05)
Observações	25.847	25.847	25.847	25.847	22.846	22.846	22.846	22.846
R2	0,68	0,69	0,18	0,18	0,09	0,09	0,30	0,30

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros clusterizados por UHE. Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA 16- TESTES DE ROBUSTEZ DO IMPACTO DA ENTRADA E CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE O ÍNDICE FIRJAN DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL GERAL E EM SEUS COMPONENTES (EDUCAÇÃO, RENDA E SAÚDE). ERROS CLUSTERIZADOS POR UHE.

Variável	IFDM Firjan	IFDM Firjan	IFDM Firjan Educação	IFDM Firjan Educação	IFDM Firjan Renda	IFDM Firjan Renda	IFDM Firjan Saúde	IFDM Firjan Saúde
Entrada Usina	0,01 (0,75)	0,01 (0,67)	0,00 (-0,28)	0,00 (-0,17)	0,01 (0,40)	0,01 (0,38)	0,03 (1,01)	0,03 (0,89)
Construção Usina	0,00 (-0,36)	0,00 (-0,36)	-0,01 (-0,47)	-0,01 (-0,47)	-0,01 (-0,74)	-0,01 (-0,74)	0,02 (0,66)	0,02 (0,66)
tratados	0,00 (-0,48)	0,00 (-0,46)	-0,01 (-0,90)	-0,01 (-0,93)	0,02 (0,87)	0,02 (0,87)	-0,03 (-1,19)	-0,03 (-1,19)
Royalties		0,00 (0,85)		0,00 (-0,93)		0,00 (0,21)		3,91e-09** (2,16)
Observações	17.803	17.803	17.903	17.903	18.179	18.179	18.288	18.288
R2	0,51	0,51	0,63	0,63	0,23	0,23	0,48	0,48

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros clusterizados por UHE. Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA 17- TESTES DE ROBUSTEZ DO IMPACTO DO TAMANHO DO RESERVATÓRIO DA USINA E DA CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) SOBRE A ÁREA DE FLORESTA MUNICIPAL. ERROS CLUSTERIZADOS POR UHE.

Variável	Área de Floresta (hec)	Área de Floresta (hec)
Reservatório da Usina	-0,04 (-1,55)	-0,0579* (-1,95)
Construção Usina	-7.219,80 (-1,15)	-6.893,00 (-1,10)
Tratados	37.787,2** (2,43)	37.732,0** (2,44)
Royalties		0,00331* (1,86)
Observações	25.847	25.847
R2	0,68	0,69

Notas: Estatística t entre parênteses. * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,001. Erros clusterizados por UHE. Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA 18- ESTIMAÇÃO DO EFEITO HETEROGÊNEO DA ENTRADA E DA CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES) PELA PROPORÇÃO DA ÁREA MUNICIPAL COBERTA POR UNIDADES DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL SOBRE A ÁREA DE FLORESTA DOS MUNICÍPIOS. ERROS CLUSTERIZADOS POR UHE.

Variáveis	(1)	(2)
	Área de Floresta (hec)	Área de Floresta (hec)
Entrada Usina (β_1)	-2.541,4 (-0,98)	-3.960,2 (-1,38)
Construção Usina (β_2)	-1.051,4 (-0,54)	-1.366,6 (-0,67)
Entrada Usina x Preservação (β_4)	55.721,7*** (3,36)	64.672,2*** (3,72)
Construção Usina x Preservação (β_5)	-15.366,2 (-0,47)	-15.924,8 (-0,48)
Tratados	2.745,9 (1,00)	2.870,4 (1,02)
Royalties		0,00337* (1,81)
Preservação	41.026,9 (1,7)	41.524,4 (1,08)
Pós-Entrada ($\beta_1 - \beta_2$)	-1.490,02* (-1,69)	-2.593,67** (-2,22)
Pós-Entrada x Preservação ($\beta_4 - \beta_5$)	71.087,95* (1,77)	80.596,94* (1,97)
Observações	21.206	21.206
R2	0,579	0,594

Notas: Estatística t entre parênteses. * $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$. Erros clusterizados por UHE. Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA 19– MAGNITUDE DOS EFEITOS FINAIS DA ENTRADA EM OPERAÇÃO DA UHE

Painel A - Magnitude dos Efeitos da Entrada em Operação da UHE na Variável de Tratamento Discreta				
	(1)	(2)	(3)	(4)
	Média Anual Tratamento Pré-Tratamento	Efeito Estimado Total Anos Tratados (β_1)	Magnitude Total em relação a média anual tratamento pré-tratamento: Modulo(2)/(1)	Magnitude Por Ano Tratado em relação a média anual tratamento pré-tratamento: (3)/15anos
Área de Floresta (hec)	88.267,17	-20.756,30	24%	2%
População	17.219,42	6.952,50	40%	3%
PIB Real	118.793,10	82.543,80	69%	5%
PIB per capita	6,58	1,07	16%	1%

Painel B - Magnitude dos Efeitos da Entrada em Operação da UHE na Variável de Tratamento Contínua							
	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	Perc. 25	Perc. 75	Perc. 75 – Perc. 25	Efeito Estimado Total Anos Tratados (β_3)	Magnitude do efeito: (6)x(7)	Magnitude Total em relação Percentil 25: Modulo(8)/(4)	Magnitude Por Ano Tratado em relação Percentil 25: Modulo(9)/15anos
Reservatório da Usina (Energia Assegurada)	57.400,00	379.700,00	322.300,00	-0,058	-18.661,17	33%	2%

Painel C - Magnitude do Efeito Heterogêneo da Entrada em Operação da UHE por Unidades de Preservação Ambiental sobre Área de Floresta					
(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
Média Anual Tratados Pré-Tratamento da Área de Unidade Preservação (UP) Ambiental nos Municípios (%)	Efeito Estimado Por Ano Tratado para Municípios na Média ($\beta_1 + \beta_4 * Média UP$)/15	Média Anual Tratados Pré-Tratamento da Área de Unidade Preservação (UP) Ambiental nos Municípios + 1 desvio padrão (%)	Efeito Estimado Por Ano Tratado para Municípios na Média + 1 desvio padrão [$\beta_1 + \beta_4 * (Média UP + 1 DP UP)$]/15	Diferença do Efeito Estimado (hec): Média + desvio padrão vs Média	Diferença do Efeito Estimado (%): Média vs Média + 1 desvio padrão
0,1%	-259,51	1,3%	-207,42	52,09	20%

TABELA 20– MAGNITUDE DOS EFEITOS DA CONSTRUÇÃO DA UHE

Magnitude dos Efeitos da Construção da UHE na Variável de Tratamento Discreta				
	(1)	(2)	(3)	(4)
	Média Anual Tratamento Pré-Tratamento	Efeito Estimado Total Anos Tratados (β_2)	Magnitude Total em relação a média anual tratamento pré-tratamento: $\text{Modulo}(2)/(1)$	Magnitude Por Ano Tratado em relação a média anual tratamento pré-tratamento: $(3)/5\text{anos}$
Área de Floresta (hec)	88.267,17	-15.134,00	17%	3%
População	17.219,42	4.534,80	26%	5%
PIB Real	118.793,10	26.375,30	22%	4%
PIB per capita	6,58	-0,36	5%	1%

TABELA 21– MAGNITUDE DOS EFEITOS PÓS-ENTRADA EM OPERAÇÃO DE UHE

Painel A - Magnitude dos Efeitos Pós- Entrada em Operação da UHE em Variáveis Discretas de Tratamento				
	(1)	(2)	(3)	(4)
	Média Anual Tratamento Pré-Tratamento	Efeito Pós-Entrada Estimado Total Anos Tratados ($\beta_1 - \beta_2$)	Magnitude Total em relação a média anual tratamento pré-tratamento: $\text{Modulo}(2)/(1)$	Magnitude Por Ano Tratado em relação a média anual tratamento pré-tratamento: $(3)/10\text{anos}$
Área de Floresta (hec)	88.267,17	-5.622,30	6%	1%
População	17.219,42	2.417,70	14%	1%
PIB Real	118.793,10	56.168,50	47%	5%
PIB per capita	6,58	1,43	22%	2%

Painel B - Magnitude do Efeito Heterogêneo da Efeito Pós-Entrada em operação da UHE por Unidades de Preservação Ambiental sobre Área de Floresta					
(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)

Média Anual Tratados Pré-Tratamento da Área de Unidade Preservação (UP) Ambiental nos Municípios (%)	Efeito Estimado Por Ano Tratado para Municípios na Média $[(\beta_1 - \beta_2) + (\beta_4 - \beta_5) * Média UP]/15$	Média Anual Tratados Pré-Tratamento da Área de Unidade Preservação (UP) Ambiental nos Municípios + 1 desvio padrão (%)	Efeito Estimado Por Ano Tratado para Municípios na Média + 1 desvio padrão $[(\beta_1 - \beta_2) + (\beta_4 - \beta_5) * (Média UP + 1 DP UP)]/15$	Diferença do Efeito Estimado (hec): Média + desvio padrão vs Média	Diferença do Efeito Estimado (%): Média vs Média + 1 desvio padrão
0,1%	-250,95	1,3%	-153,58	97,38	39%

MATERIAL SUPLEMENTAR

TABELA S 1- CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO ELÉTRICA EM MW, POR TIPO DE SISTEMA GERADOR, BRASIL, 2014 - 2020

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	133.913	140.858	150.338	157.112	164.503	170.118	174.737
Usinas Hidrelétricas	84.095	86.366	91.499	94.662	98.287	102.999	103.027
PCH ¹	4.790	4.886	4.941	5.020	5.157	5.291	5.429
CGH ²	308	398	484	594	695	768	816
Gás Natural	12.550	12.428	12.965	12.980	13.359	13.385	14.927
Derivados de Petróleo	7.888	8.828	8.845	8.792	7.549	7.670	7.696
Carvão	3.389	3.389	3.389	3.324	2.858	3.228	3.203
Usinas Nucleares	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990
Biomassa	12.183	13.069	13.913	14.289	14.569	14.703	15.011
Usinas Eólicas	4.888	7.633	10.124	12.283	15.378	15.378	17.131
Solar	15	21	24	935	2.473	2.473	3.287
Outras	1.816	1.850	2.163	2.243	2.188	2.234	2.221

Notas: ¹Pequena Central Hidrelétrica, ²Central Geradora Hidrelétrica. ³Gás de Coqueria, outras secundárias, outras não renováveis, outras renováveis, e biodiesel. Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

TABELA S 2- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA

Toda Amostra					
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	22.778	8.516,63	7.825,10	886,00	107.916,00
Área de Floresta (hec)	22.778	12.725,47	19.623,54	114,11	174.096,70
PIB Real	20.141	63.132,03	83.754,34	3.651,17	885.093,90
PIB per capita	20.141	7,10	4,62	1,05	85,51
IFDM Firjan	15.695	0,69	0,09	0,19	0,90

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 15 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA S 3- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO CONTROLE E GRUPO TRATAMENTO

Painel A		Grupo de Controle			
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	21.847	8.502,12	7.524,49	886,00	43.162,00
Área de Floresta (hec)	21.847	12.634,23	19.316,53	154,99	174.096,70
PIB Real	19.315	62.570,31	82.006,86	3.651,17	717.190,30
PIB per capita	19.315	7,01	4,22	1,05	75,59
IFDM Firjan	15.058	0,69	0,09	0,19	0,90
Painel B		Grupo Tratamento			
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	942	8.899,31	12.953,42	1.341,00	107.916,00
Área de Floresta (hec)	942	14.868,53	25.569,80	114,11	162.057,50
PIB Real	836	76.382,49	116.171,90	3.789,10	885.093,90
PIB per capita	836	9,00	10,02	1,78	85,51
IFDM Firjan	646	0,69	0,07	0,43	0,85
Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 15 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).					

TABELA S 4- ESTATÍSTICA DESCRITIVA – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO TRATAMENTO (ANTES E DEPOIS DO TRATAMENTO) E GRUPO CONTROLE (ANTES E DEPOIS DE 2010)

Painel A		Tratados Antes do Tratamento				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	262	7.277,03	9.486,24	1.531,00	99.071,00	
Área de Floresta (hec)	262	18.696,81	32.680,73	610,13	162.057,50	
PIB Real	192	53.985,12	81.845,48	6.298,76	885.093,90	
PIB per capita	192	6,91	3,21	2,27	20,37	
IFDM Firjan	95	0,67	0,08	0,46	0,83	
Painel B		Tratados Depois do Tratamento				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	669	9.476,01	14.126,19	1.341,00	107.916,00	
Área de Floresta (hec)	669	13.366,42	22.264,20	114,11	138.072,20	
PIB Real	634	83.015,22	124.657,70	3.789,10	814.557,30	
PIB per capita	634	9,68	11,29	1,78	85,51	
IFDM Firjan	542	0,69	0,07	0,43	0,85	
Painel C		Controle Antes de 2010				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	12.832	8.347,64	7.244,99	886,00	37.604,00	
Área de Floresta (hec)	12.832	12.638,87	19.588,43	154,99	174.096,70	
PIB Real	10.300	55.079,06	70.824,28	3.651,17	637.532,80	
PIB per capita	10.300	6,32	3,60	1,05	50,01	
IFDM Firjan	6.130	0,66	0,09	0,19	0,88	
Painel D		Controle Depois de 2010				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	9.015	8.722,00	7.900,51	1.020,00	43.162,00	
Área de Floresta (hec)	9.015	12.627,61	18.923,85	204,52	157.940,40	
PIB Real	9.015	71.129,36	92.418,40	4.583,06	717.190,30	
PIB per capita	9.015	7,81	4,70	1,25	75,59	
IFDM Firjan	8.928	0,71	0,08	0,35	0,90	

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 15 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA S 5– ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA

Toda Amostra					
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	21.701	10.392,64	12.891,32	886,00	478.607,00
Área de Floresta (hec)	21.701	13.454,91	20.838,79	112,29	174.096,70
PIB Real	19.182	77.310,78	135.529,80	3.789,10	3.590.385,00
PIB per capita	19.182	6,96	4,60	1,05	89,75
IFDM Firjan	14.970	0,69	0,09	0,19	0,90
Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 25 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).					

TABELA S 6- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO CONTROLE E GRUPO TRATAMENTO

Painel A		Grupo de Controle			
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	19.459	10.246,08	11.377,52	886,00	102.906,00
Área de Floresta (hec)	19.459	13.530,02	20.904,36	154,99	174.096,70
PIB Real	17.204	74.050,54	121.081,20	3.932,03	2.412.164,00
PIB per capita	17.204	6,81	4,00	1,05	46,92
IFDM Firjan	13.452	0,69	0,09	0,19	0,90
Painel B		Grupo Tratamento			
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	2.304	11.736,55	21.748,61	1.341,00	478.607,00
Área de Floresta (hec)	2.304	13.132,26	20.886,66	112,29	162.057,50
PIB Real	2.037	106.101,10	220.775,20	3.789,10	3.590.385,00
PIB per capita	2.037	8,22	7,95	1,61	89,75
IFDM Firjan	1.568	0,69	0,08	0,34	0,89
Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 25 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).					

TABELA S 7- ESTATÍSTICA DESCRITIVA – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO TRATAMENTO (ANTES E DEPOIS DO TRATAMENTO) E GRUPO CONTROLE (ANTES E DEPOIS DE 2010)

Painel A		Tratados Antes do Tratamento				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	578	9.622,55	14.435,38	1.531,00	108.672,00	
Área de Floresta (hec)	578	15.370,07	24.661,90	622,83	162.057,50	
PIB Real	417	70.642,15	139.209,30	5.621,84	1.118.944,00	
PIB per capita	417	6,51	2,90	1,62	20,37	
IFDM Firjan	207	0,66	0,08	0,43	0,83	
Painel B		Tratados Depois do Tratamento				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	1.664	12.373,97	24.025,30	1.341,00	478.607,00	
Área de Floresta (hec)	1.664	11.911,23	18.403,00	112,29	138.072,20	
PIB Real	1.561	115.023,80	239.700,80	3.789,10	3.590.385,00	
PIB per capita	1.561	8,73	8,87	1,61	89,75	
IFDM Firjan	1.311	0,70	0,08	0,34	0,89	
Painel C		Controle Antes de 2010				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	11.434	9.991,98	10.887,12	886,00	100.251,00	
Área de Floresta (hec)	11.434	13.548,07	21.215,11	154,99	174.096,70	
PIB Real	9.179	64.786,14	98.938,40	3.932,03	1.453.088,00	
PIB per capita	9.179	6,16	3,56	1,05	43,50	
IFDM Firjan	5.483	0,66	0,10	0,19	0,88	
Painel D		Controle Depois de 2010				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	8.025	10.608,13	12.033,23	1.020,00	102.906,00	
Área de Floresta (hec)	8.025	13.504,31	20.454,73	204,52	157.940,40	
PIB Real	8.025	84.647,16	141.508,10	4.583,06	2.412.164,00	
PIB per capita	8.025	7,54	4,33	1,25	46,92	
IFDM Firjan	7.969	0,71	0,08	0,35	0,90	

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 25 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA S 8– ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA

Toda Amostra					
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	21.701	10.392,64	12.891,32	886,00	478.607,00
Área de Floresta (hec)	21.701	13.454,91	20.838,79	112,29	174.096,70
PIB Real	19.182	77.310,78	135.529,80	3.789,10	3.590.385,00
PIB per capita	19.182	6,96	4,60	1,05	89,75
IFDM Firjan	14.970	0,69	0,09	0,19	0,90

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 30 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA S 9- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO CONTROLE E GRUPO TRATAMENTO

Painel A		Grupo de Controle			
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	19.459	10.246,08	11.377,52	886,00	102.906,00
Área de Floresta (hec)	19.459	13.530,02	20.904,36	154,99	174.096,70
PIB Real	17.204	74.050,54	121.081,20	3.932,03	2.412.164,00
PIB per capita	17.204	6,81	4,00	1,05	46,92
IFDM Firjan	13.452	0,69	0,09	0,19	0,90
Painel B		Grupo Tratamento			
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	2.304	11.736,55	21.748,61	1.341,00	478.607,00
Área de Floresta (hec)	2.304	13.132,26	20.886,66	112,29	162.057,50
PIB Real	2.037	106.101,10	220.775,20	3.789,10	3.590.385,00
PIB per capita	2.037	8,22	7,95	1,61	89,75
IFDM Firjan	1.568	0,69	0,08	0,34	0,89

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 30 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA S 10- ESTATÍSTICA DESCRITIVA – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO TRATAMENTO (ANTES E DEPOIS DO TRATAMENTO) E GRUPO CONTROLE (ANTES E DEPOIS DE 2010)

Painel A		Tratados Antes do Tratamento				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	578	9.622,55	14.435,38	1.531,00	108.672,00	
Área de Floresta (hec)	578	15.370,07	24.661,90	622,83	162.057,50	
PIB Real	417	70.642,15	139.209,30	5.621,84	1.118.944,00	
PIB per capita	417	6,51	2,90	1,62	20,37	
IFDM Firjan	207	0,66	0,08	0,43	0,83	
Painel B		Tratados Depois do Tratamento				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	1.664	12.373,97	24.025,30	1.341,00	478.607,00	
Área de Floresta (hec)	1.664	11.911,23	18.403,00	112,29	138.072,20	
PIB Real	1.561	115.023,80	239.700,80	3.789,10	3.590.385,00	
PIB per capita	1.561	8,73	8,87	1,61	89,75	
IFDM Firjan	1.311	0,70	0,08	0,34	0,89	
Painel C		Controle Antes de 2010				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	11.434	9.991,98	10.887,12	886,00	100.251,00	
Área de Floresta (hec)	11.434	13.548,07	21.215,11	154,99	174.096,70	
PIB Real	9.179	64.786,14	98.938,40	3.932,03	1.453.088,00	
PIB per capita	9.179	6,16	3,56	1,05	43,50	
IFDM Firjan	5.483	0,66	0,10	0,19	0,88	
Painel D		Controle Depois de 2010				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	8.025	10.608,13	12.033,23	1.020,00	102.906,00	
Área de Floresta (hec)	8.025	13.504,31	20.454,73	204,52	157.940,40	
PIB Real	8.025	84.647,16	141.508,10	4.583,06	2.412.164,00	
PIB per capita	8.025	7,54	4,33	1,25	46,92	
IFDM Firjan	7.969	0,71	0,08	0,35	0,90	
Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios localizados em até 30 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)), Grupo Controle (municípios localizados entre 50 e 75 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).						

TABELA S 11- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA

Toda Amostra					
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	43.893	10.293,18	16.024,19	886,00	478.607,00
Área de Floresta (hec)	43.893	16.866,19	61.336,16	16,96	2.684.884,00
PIB Real	38.788	76.656,25	163.203,00	3.468,75	3.898.070,00
PIB per capita	38.788	6,93	5,53	1,04	141,84
IFDM Firjan	30.296	0,69	0,08	0,26	0,90

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 75 e 100 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA S 12- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO CONTROLE E GRUPO TRATAMENTO

Painel A		Grupo de Controle			
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	42.753	9.673,11	11.768,74	886,00	212.237,00
Área de Floresta (hec)	42.753	15.047,55	56.088,21	16,96	2.684.884,00
PIB Real	37.778	70.864,37	137.847,60	3.468,75	3.395.171,00
PIB per capita	37.778	6,84	5,24	1,04	141,84
IFDM Firjan	29.505	0,69	0,08	0,26	0,90
Painel B		Grupo Tratamento			
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
População	1.152	33.429,19	64.070,16	2.013,00	478.607,00
Área de Floresta (hec)	1.152	84.307,98	148.123,90	622,83	910.850,10
PIB Real	1.018	292.420,50	512.593,30	5.621,84	3.898.070,00
PIB per capita	1.018	10,57	11,46	1,73	120,10
IFDM Firjan	797	0,68	0,09	0,40	0,87

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 75 e 100 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).

TABELA S 13- ESTATÍSTICA DESCRITIVA – AMOSTRA COMPLETA POR GRUPO TRATAMENTO (ANTES E DEPOIS DO TRATAMENTO) E GRUPO CONTROLE (ANTES E DEPOIS DE 2010)

Painel A		Tratados Antes do Tratamento				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	345	17.219,42	27.139,96	2.013,00	180.227,00	
Área de Floresta (hec)	345	88.267,17	160.700,50	5.952.282,00	910.850,10	
PIB Real	252	118.793,10	193.124,70	5.621.844,00	1.118.944,00	
PIB per capita	252	6,58	3,10	1,76	17,47	
IFDM Firjan	136	0,64	0,08	0,45	0,83	
Painel B		Tratados Depois do Tratamento				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	811	37.809,43	71.507,52	2.056,00	478.607,00	
Área de Floresta (hec)	811	72.993,14	130.314,10	710,87	877.551,60	
PIB Real	764	339.596,20	567.296,70	6.186,19	3.898.070,00	
PIB per capita	764	11,84	12,79	1,73	120,10	
IFDM Firjan	661	0,69	0,09	0,40	0,87	
Painel C		Controle Antes de 2010				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	25.124	9.451,20	11.158,06	886,00	163.021,00	
Área de Floresta (hec)	25.124	15.069,00	56.454,15	16,96	2.684.884,00	
PIB Real	20.149	63.539,05	129.510,30	3.468,75	3.175.816,00	
PIB per capita	20.149	6,20	4,95	1,04	134,88	
IFDM Firjan	12.045	0,65	0,09	0,26	0,88	
Painel D		Controle Depois de 2010				
Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
População	17.629	9.989,37	12.581,53	1.020,00	212.237,00	
Área de Floresta (hec)	17.629	15.017,00	55.564,09	19,80	2.440.850,00	
PIB Real	17.629	79.236,81	146.353,20	4.583,06	3.395.171,00	
PIB per capita	17.629	7,56	5,46	1,40	141,84	
IFDM Firjan	17.460	0,71	0,07	0,33	0,90	

Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 75 e 100 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).
 Notas: Nessa amostra, Grupo Tratamento (municípios no qual a usina hidrelétrica (UHE) está localizada), Grupo Controle (municípios localizados entre 75 e 100 quilômetros de distância da usina hidrelétrica (UHE)).



RELATÓRIO DO PRODUTO P4 | ESTUDO ENERGIA

JOF 2845/2021 | PNUD Projeto BRA/18/023

**SETE ESTUDOS DE CASO DE
AVALIAÇÕES *EX POST* DE PROJETOS
DE INVESTIMENTO EM
INFRAESTRUTURA**

CONTATO PEZCO ECONOMICS

 Alameda Santos, 1293 • 6º andar • Cj. 61
Jardim Paulista • São Paulo | SP

 + 55 11 3582-5509

 economics@pezco.com.br

 www.pezco.com.br