

O Impacto da Eletrificação Rural no Desmatamento da Amazônia Legal

Mariana Rezende e Silva¹
Weslem Rodrigues Faria^{2,3}

Resumo: As florestas tropicais estão localizadas, em sua maioria, em regiões pobres, onde o desenvolvimento econômico tem ocorrido em conjunto com a destruição da cobertura de floresta. Milhares de comunidades rurais em países em desenvolvimento ainda não tem acesso à energia que é fundamental ao bem-estar humano, produtividade rural, cuidados de saúde, educação e sustentabilidade ambiental. Este desmatamento está intrinsecamente relacionado com as decisões do uso da terra para a produção agrícola, fator importante de subsistência para as famílias mais pobres de áreas rurais. Na Amazônia Legal, a trajetória de desmatamento iniciou na década de 60 com o incentivo governamental de migração para essa região do país. Entretanto, ainda faltam condições de estruturas básicas para viabilizar a economia local como o acesso à energia, que se deve não só a falta de investimentos, mas também a certas características da região. Como resultado, a Amazônia Legal tem a menor cobertura de domicílios rurais com eletricidade dentre todas as regiões brasileiras. O Estado pode ser o agente chave para a sustentabilidade e desenvolvimento das comunidades rurais ao promover a expansão do acesso à eletricidade, reduzindo a necessidade dessa população de expandir o desmatamento para obter suas necessidades básicas. Portanto, o objetivo deste artigo foi verificar qual seria a relação da eletrificação rural com as taxas de desmatamento dos municípios da Amazônia Legal. Para este fim foi empregada uma análise de dados em painel para os anos do Censo Agropecuário, 1996, 2006 e 2017. Os resultados encontrados mostraram que a eletrificação rural seria um fator de redução das taxas de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal. Mais do que isso, a expansão da eletrificação em comunidades rurais, pode não só, fortalecer o desenvolvimento econômico dessas regiões, mas também, contribuir para a preservação das áreas de floresta.

Palavras-chaves: Eletrificação Rural. Desmatamento. Desenvolvimento Sustentável.

Abstract: Tropical forests are mostly located in poor regions, where economic development has taken place together with the destruction of forest cover. Thousands of rural communities in developing countries still lack access to energy, which is fundamental to human well-being, rural productivity, health care, education and environmental sustainability. This deforestation is intrinsically related to land use decisions for agricultural production, an important livelihood factor for the poorest families in rural areas. In the Legal Amazon, the deforestation trajectory began in the 1960s with the government's incentive to migrate to that region of the country. However, there is still a lack of conditions for basic structures to make the local economy viable, such as access to energy, which is due not only to the lack of investments, but also to certain characteristics of the region. As a result, the Legal Amazon has the lowest coverage of rural households with electricity among all Brazilian regions. The Government can be the key agent for the sustainability and development of rural communities by promoting the expansion of access to electricity, reducing this population's need to expand deforestation to meet their basic needs. Therefore, the aim of this article was to verify what would be the relationship between rural electrification and deforestation rates in municipalities in the Legal Amazon. For this purpose, panel data analysis was used for the years of the Agricultural Census, 1996, 2006 and

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora -PPGE-UFJF. E-mail: rezendes_mariana@hotmail.com.

² Professor Adjunto da Faculdade de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail: weslem.faria@ufjf.edu.br

³ Os autores agradecem às instituições de fomento FAPEMIG, CAPES e CNPq pelo apoio financeiro.

2017. The results found showed that rural electrification would be a factor in reducing deforestation rates in municipalities in the Legal Amazon. More than that, the expansion of electrification in rural communities can not only strengthen the economic development of these regions, but also contribute to the preservation of forest areas.

Keywords: Rural Electrification. Deforestation. Sustainable Development.

Área: 11 – Economia Agrícola e do Meio Ambiente

Código JEL: O13; O18; Q4; Q56; R11

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais estão localizadas, em sua maioria, em regiões pobres, onde o desenvolvimento econômico tem ocorrido em conjunto com a destruição da cobertura de floresta. Este desmatamento está intrinsecamente relacionado com as decisões do uso da terra para a produção agrícola, que é um fator importante de subsistência para as famílias mais pobres de áreas rurais. Logo, a população rural depende mais do ambiente local para atender às suas necessidades básicas e tende a ser mais pobre e marginalizada que a população urbana (TANNER; JOHNSTON, 2017).

No Brasil, mais especificamente, na Amazônia Legal, a trajetória de desmatamento iniciou com a abertura de estradas, o povoamento, especulação fundiária e a estruturação da pecuária na década de 60 com o incentivo governamental de migração para essa região do país. Após a década de 80, o desmate de área de floresta foi um processo espontâneo provocado pela exploração de recursos naturais, principalmente pelas atividades madeireira e pecuária (DINIZ *et al.*, 2009).

Milhares de comunidades rurais em países em desenvolvimento ainda não tem acesso à energia, que é fundamental ao bem-estar humano, produtividade rural, cuidados de saúde, educação e sustentabilidade ambiental (SAPKOTA *et al.*, 2014). A ampliação do acesso à eletricidade rural pode ajudar a aliviar a pobreza em regiões pouco desenvolvidas, o que possibilita o crescimento econômico local e pode beneficiar a população mais pobre a aumentar a produtividade e obter melhores oportunidades de emprego no médio prazo (BERNARD, 2012).

A infraestrutura, como a eletrificação rural, afeta o crescimento econômico de forma direta e indireta. O efeito direto é o da produtividade, que pode ser ampliado com investimentos em infraestrutura em áreas remotas que impactará diretamente a produtividade de setores como a agricultura (COOK, 2011). Além disso, no longo prazo, a eletrificação rural pode reduzir as pressões ambientais, facilitando o processo de desenvolvimento sustentável (BERNARD, 2012), reduzindo a necessidade das comunidades rurais de buscar o desmatamento para obter energia (TANNER; JOHNSTON, 2017).

O Brasil ampliou o acesso a eletrificação rural através do Programa Luz para Todos, lançado em 2003, para 16,2 milhões de pessoas da zona rural (BRASIL, 2018a). Contudo, este cenário piora quando se considera para a análise a renda e a localização destes domicílios, como a Amazônia Legal, em que faltam condições de estruturas básicas para viabilizar a economia local como o acesso à energia. Como resultado, a região tem a menor cobertura de domicílios rurais com eletricidade dentre todas as regiões brasileiras (BRASIL, 2008) - na região Sudeste, por volta de 0,3% dos domicílios não tem acesso à eletricidade, enquanto na região Norte esse percentual chega em 6,3% (IBGE, 2013).

Isso se deve não só a falta de investimentos, mas também a certas características da região, que faz com que a oferta de eletricidade nas comunidades da Amazônia Legal através de sistemas de distribuição convencionais não seja muito fácil devido aos obstáculos naturais,

longas distâncias entre os centros de geração de energia e os consumidores e a baixa densidade populacional (VALER et al., 2014).

O Estado pode ser o agente chave para a sustentabilidade e desenvolvimento das comunidades rurais ao promover a expansão do acesso à eletricidade, reduzindo a necessidade dessa população de expandir o desmatamento para obter suas necessidades básicas. Portanto, o objetivo deste artigo é examinar qual seria a relação da eletrificação rural nas taxas de desmatamento dos municípios da Amazônia Legal, controlando por fatores econômicos, populacionais e características dos estabelecimentos. Para esse fim, será empregada uma análise de dados em painel para os anos do Censo Agropecuário, 1996, 2006 e 2017, dos municípios da Amazônia Legal.

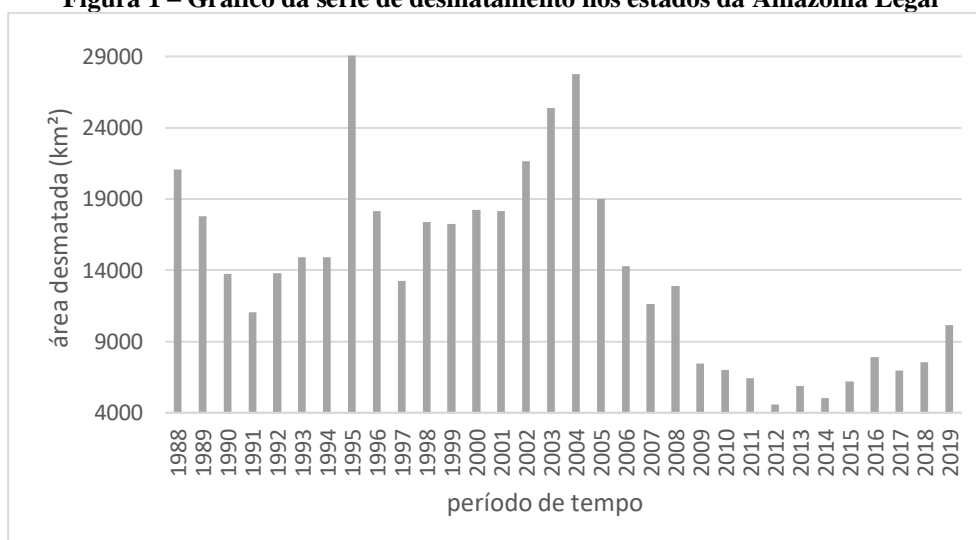
Como a energia elétrica é tida como uma fonte de desenvolvimento econômico, este estudo avança na literatura ao avaliar se a expansão da eletrificação nas propriedades rurais seria um fator de ampliação ou redução das áreas de floresta. Os resultados encontrados mostram que a eletrificação rural seria um fator de redução das taxas de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal. Ou seja, a expansão do acesso à energia elétrica seria uma variável a ser considerada na formulação de políticas de combate ao desmatamento.

Além da introdução, esse artigo tem mais seis seções. Na segunda seção são apresentadas as causas do desmatamento estudadas na literatura. Logo depois é descrita a relação da eletrificação rural com desmatamento e desenvolvimento. Na quarta seção é apresentada a base de dados, logo depois é explicada a estratégia empírica. Na sexta seção é feita a discussão dos resultados e, por fim, tem-se a conclusão do estudo.

2. AS CAUSAS DO DESMATAMENTO

Um problema relacionado a região da Amazônia Legal é o desmatamento da Floresta Amazônica ao longo do tempo. Até 1980, o desmatamento na região foi de cerca de 300 mil km² (BRASIL, 2008). Nos últimos 30 anos, a área total desmatada na Amazônia Legal foi de aproximadamente 436 mil km² (INPE, 2020), como pode ser observado na Figura 1. Entre 2004 e 2018, a área desmatada teve uma redução de 72%, o início dessa redução coincide com a o lançamento do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), com a primeira fase entre 2004 e 2015 e a segunda fase entre 2016 a 2020.

Figura 1 – Gráfico da série de desmatamento nos estados da Amazônia Legal



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

A literatura sobre desmatamento de florestas tropicais traz diversas abordagens sobre as possíveis causas desse problema. Segundo Angelsen (1999), existe uma linha divisória nesse debate, com estudos que enfatizam a pobreza e o crescimento populacional e estudos que enfatizam fatores de mercado como preços, custos de acesso e direitos de propriedade como forças motrizes do desmatamento. Além disso, pouco se sabe como as características dos agentes, estabelecimentos agropecuários, madeireiras e formação do agricultor afetam seu comportamento no processo de desmatamento das regiões (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999).

Ao sintetizar os resultados de mais de 140 modelos econômicos que analisaram as causas do desmatamento, Angelsen e Kaimowitz (1999) levantaram algumas dúvidas e conclusões sobre as abordagens. A primeira delas é de que a densidade populacional se tornou um aspecto pouco significativo na análise do desmatamento e, em níveis locais e regionais, a população é uma variável endógena (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999; FERREIRA e COELHO, 2015) determinada pela infraestrutura, qualidade do solo, distância até os mercados e oportunidade de empregos. Isso implica que o crescimento populacional por si só não pode ser considerado como causa de desmatamento em áreas de floresta.

A expansão da fronteira agropecuária, como a expansão do cultivo de grãos e gado, tem se mostrado como uma das principais causas do desmatamento de florestas tropicais (ALLEN e BARNES, 1985; DINIZ *et al.*, 2009; FARIA e ALMEIDA, 2016; JUSYS, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2011; LEBLOIS, DAMETTE e WOLFERSBERGER, 2017; SILVA e LIMA, 2018). As taxas de desmatamento são maiores em regiões onde pouco ou nenhum progresso tem sido feito na produtividade agrícola ou onde a produtividade da terra cai rapidamente logo depois que a cobertura de floresta é removida (ALLEN e BARNES, 1985).

Ainda de acordo com Angelsen e Kaimowitz (1999), a liberalização econômica e a globalização propiciaram que a demanda global determinasse o preço e a demanda dos produtos agrícolas e florestais. Na Amazônia Legal, os preços da soja e dos insumos agrícolas (FERREIRA e COELHO, 2015; HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013) e preços mais baixos de madeira (HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013) explicariam em grande parte o desmatamento nessa região ao longo do tempo. Assim, políticas desenvolvidas para a promoção das exportações desses produtos, provavelmente, afetariam mais o desmatamento do que políticas que incentivam a produção para o mercado doméstico, uma vez que elas exerceriam maior pressão sobre os preços. Para a Amazônia Legal, existem evidências de que a abertura econômica provocaria um aumento significativo do desmatamento (FARIA e ALMEIDA, 2016).

Segundo Angelsen e Kaimowitz (1999) espera-se que o crescimento econômico e renda nacional alta reduzam a pressão sobre as florestas, melhorando as oportunidades de emprego, mas, por outro lado, podem estimular a demanda e aumentar a pressão por produtos agrícolas e florestais. Contudo, o esgotamento florestal pode contribuir para o crescimento econômico, implicando em uma relação causal na direção oposta. As forças motrizes por trás da transição ainda não são claras e, mesmo que a essa relação renda-desmatamento exista, os níveis de renda na maioria dos países tropicais estão bem abaixo do nível em que o desmatamento começa a declinar.

A expansão de terras protegidas com regras bem definidas, como as terras indígenas e unidades de conservação, reduziriam o desmatamento nessas regiões protegidas (FARIA e ALMEIDA, 2016; FERREIRA e COELHO, 2015). Apesar das áreas protegidas serem eficazes na proteção da floresta dentro de suas fronteiras, o impacto sobre os níveis agregados de desmatamento seria insignificante (ASSUNÇÃO e GANDOUR, 2020). Além do mais, a promoção de políticas ambientais teria papel relevante no desmatamento (ARIMA *et al.*, 2014; FERREIRA e COELHO, 2015; HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013). Como o PPCDAm que é o principal instrumento para a implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima

(PNMC, Lei 12187/2009), que estabeleceu uma meta de redução de 80% da taxa de desmatamento na Amazônia até 2020, relativa à média da taxa de desmatamento no período de 1996 a 2005. O acompanhamento dos resultados do PPCDAm mostra que a Amazônia possui 63,4% da área coberta por floresta e 19% de vegetação não florestal, sendo que o desmatamento acumulado corresponde a 15,4% da área (BRASIL, 2018b). Apesar da legislação ambiental vigente, o desmatamento voltou a crescer em 2019. De acordo com dados divulgados pelo INPE, os alertas de desmatamento em setembro/2019 e setembro/2020 foram os maiores da série histórica, 1543 km² e 964 km², respectivamente. Além disso, o desmate em meses mais secos do ano, maio a setembro, tem sido duas vezes maior do que os três anos anteriores, 2016, 2017 e 2018 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020). Essa crise ambiental acontece após diversas ações da administração federal de enfraquecer as instituições e políticas ambientais. As multas por desmatamento na Amazônia caiu 61% na comparação com 2018, o Ibama utilizou apenas 35,3% dos recursos destinados à fiscalização ambiental e 41,6% na prevenção e controle de incêndios florestais até outubro de 2020 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020).

3. ELETRIFICAÇÃO RURAL COMO FATOR DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

Energia é uma das necessidades humanas mais básicas e a pobreza energética é uma preocupação para o desenvolvimento (SLOUGH, URPELAINEN e YANG, 2015; TANNER e JOHNSTON, 2017; MAZZONE, 2019). O acesso a fontes de energia modernas em comunidades rurais é um fator chave para o desenvolvimento econômico, melhoria do modo de vida (PEREIRA, FREITAS e DA SILVA, 2010; SAPKOTA *et al.*, 2014; VALER *et al.*, 2014; DA SILVEIRA BEZERRA *et al.*, 2017), melhores oportunidades de emprego (BERNARD, 2012). De acordo com Cook (2011), incrementos de renda por si só não garantem que as condições de vida melhorarão, esse aumento tem de vir combinado com a melhoria da infraestrutura. Porque, como mostraram Hosier e Dowd (1987), existe uma correlação entre a renda familiar e o uso de energia. Com o crescimento da renda, a população é menos dependente de lenha e vela e tende a usar fontes mais limpas e eficientes, assim como a eletricidade e combustíveis gasosos e líquidos (GROGAN e SADANAND, 2013; VALER *et al.*, 2014). Mais do que isso, com o aumento do acesso a fontes de energia moderna, atividades produtivas podem ser melhoradas (SAPKOTA *et al.*, 2014; VALER *et al.*, 2014), reduzindo o tempo gasto em atividades de agricultura familiar (GROGAN e SADANAND, 2013).

Segundo Harrison e Popke (2011), a oferta de meios alternativos para atender a essas necessidades básicas, como o fornecimento de material substituto adequado, pode reduzir as pressões do desmatamento. Ou seja, em qualquer localidade que melhores fontes de energia se tornem disponíveis e acessíveis, a população tenderá a aumentar rapidamente o consumo dessa energia. Entretanto, na análise dos países africanos, os benefícios ambientais se mostraram limitados com a expansão da eletricidade, pois o impacto no desmatamento da redução do uso de madeira como combustível foi menor do que se esperava (BERNARD, 2012). Isso porque foi observado que a eletricidade não estava sendo empregada em atividades produtivas, mas sim para a iluminação da casa, funcionamento de rádio e televisão (BERNARD, 2012; PRASAD, 2008). A evidência encontrada para o Nepal foi distinta, uma vez que nessa região o uso de biogás e fogão elétrico resultaria em menor consumo de madeira como combustível para cozinhar (SAPKOTA *et al.*, 2014).

A energia renovável poderia ser um fator relevante na expansão do acesso a serviços modernos de energia em áreas rurais (MUNDA; RUSSI, 2008; SAPKOTA *et al.*, 2014). Entretanto, na Espanha, o subsídio para a instalação do sistema tradicional de energia elétrica foi o responsável pela escolha desse sistema em detrimento da energia solar em comunidades rurais (MUNDA; RUSSI, 2008). No Senegal, com o corte do subsídio governamental para a

substituição da lenha pelo fogão a gás, famílias com menor renda aumentaram instantaneamente o consumo de madeira para cozinhar (PRASAD, 2008). Esses resultados indicam que incentivos públicos podem modificar as preferências dos usuários de energia elétrica (MUNDA; RUSSI, 2008).

A eletrificação rural pode reduzir as pressões ambientais, facilitando o processo de desenvolvimento sustentável, reduzindo a necessidade destas de buscar o desmatamento para obter energia (ALLEN; BARNES, 1985; BERNARD, 2012; TANNER; JOHNSTON, 2017). Ou seja, o acesso a eletrificação rural não só reduziria o desmatamento, mas seu impacto seria mais robusto que as variáveis de crescimento populacional e econômico (TANNER; JOHNSTON, 2017).

Estudos para o Brasil argumentaram que promover o acesso a eletricidade pode desempenhar um papel essencial na redução das desigualdades entre as regiões mais desenvolvidas, como Sudeste, e as regiões menos desenvolvidas como Norte e Nordeste (GÓMEZ e SILVEIRA, 2010; SLOUGH, URPELAINEN e YANG, 2015). Ainda de acordo com Tanner e Johnston (2017), para adquirir as formas mais básicas de energia disponíveis, como a lenha e o carvão, é preciso grande esforço de trabalho e tem impacto significativo na saúde e nas áreas de florestas (GROGAN e SADANAND, 2013; SAPKOTA *et al.*, 2014; TANNER e JOHNSTON, 2017). De acordo com Angelsen e Kaimowitz (1999) as evidências da coleta de lenha sobre o desmatamento são fracas, mas essa atividade tem sido significativa para a remoção de florestas na África.

A Amazônia Legal detinha a menor cobertura de domicílios com eletricidade dentre todas as regiões brasileiras, o déficit na área rural era alto, com mais de um milhão de domicílios sem acesso ao serviço no ano de 2004. O crescimento da cobertura de domicílios com energia elétrica aconteceu após a implementação do Programa Luz para Todos Programa de Eletrificação Rural (Decreto nº 4873 de 2003). O programa foi coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com o objetivo de aumentar as taxas de eletrificação rural no país, promovendo o acesso à energia elétrica para 10 milhões de pessoas até 2008. Na Região Norte, até 2019, aproximadamente, 670 mil unidades consumidoras foram atendidas pela Eletrobras (ELETROBRAS, 2019).

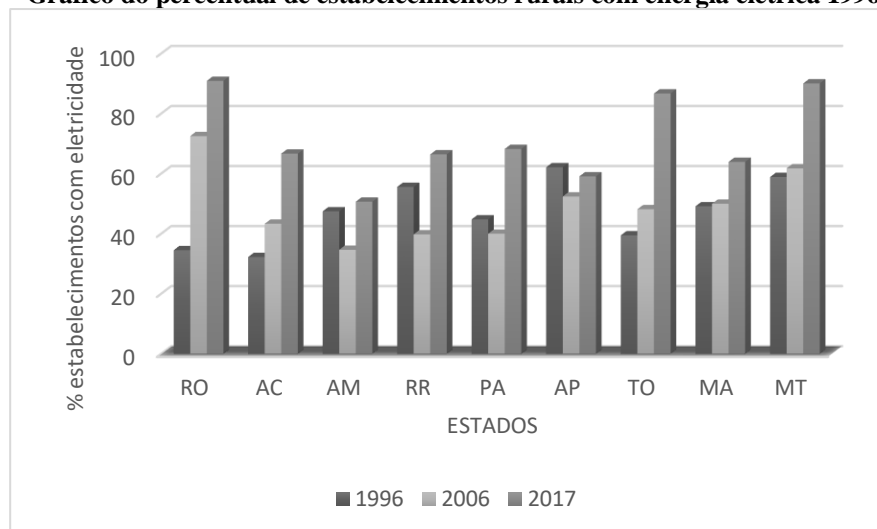
Ainda que o crescimento do percentual médio de estabelecimentos rurais com energia elétrica nos estados entre 1996 e 2017 (Figura 2), o acesso ainda não é universal. Analisando a Figura 2, é possível perceber que apenas os estados do Tocantins (TO), Rondônia (RO) e Mato Grosso (MT) teriam, em média, 70% dos estabelecimentos rurais com acesso à energia em 2017. Por outro lado, Roraima e Amapá são aqueles com o menor número e percentual de estabelecimentos rurais com energia elétrica.

O Amapá é a unidade da federação mais vulnerável daquelas ligadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Prova disso foi o apagão que ocorreu no estado em 3 de novembro de 2020. O blecaute aconteceu em função de um incêndio em dois transformadores na subestação de Macapá, um terceiro equipamento já estava avariado e não havia outro transformador ou um sistema alternativo para manter o fornecimento em caso de pane. Por conta disso, 14 dos 16 municípios do estado e mais de 80% da população ficaram sem energia elétrica por quase quatro dias, além de 20 dias de racionamento. A crise energética comprometeu o abastecimento de água, acesso à internet, caixas eletrônicos, postos de gasolina e prejudicou a saúde pública. Esse cenário mostra que a situação que se encontram algumas regiões do país com serviços precários de distribuição de energia.

Roraima corre o risco de repetir a situação do Amapá, já que não tem linhas de transmissão de energia e é dependente de usinas termelétricas. Existe um projeto de construir uma linha entre Tucuruí e Boa Vista desde 2011, mas o projeto ainda não saiu do papel. A energia elétrica era fornecida pela Venezuela até 2019, mas o país suspendeu o fornecimento, o que deixou o estado mais dependente das termelétricas. A solução para resolver a fragilidade

energética seria não só a conexão com o SIN, mas também outras fontes de geração de energia como, solar, térmica e hidrelétrica (AMARAL; MILITÃO, 2020; BARROS, 2020; ONS, 2020b).

Figura 2 – Gráfico do percentual de estabelecimentos rurais com energia elétrica 1996/2006/2017



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (1991, 1996, 2007, 2017).

Existem evidências para o Brasil de que, em municípios que expandiram a infraestrutura de eletricidade, as propriedades rurais aumentaram sua produtividade, levando a um menor nível de desmatamento (ASSUNÇÃO *et al.*, 2017), por outro lado, a construção de hidrelétricas poderia estimular a redução de áreas de floresta (ASSUNÇÃO; COSTA; SZERMAN, 2017). Estes estudos analisaram o impacto da eletricidade sobre o desmatamento pela ótica da oferta, ao avaliar como a construção de usinas hidrelétricas e a extensão das redes elétricas poderia impactar as áreas de floresta no país.

Contudo, ainda existe uma lacuna na literatura para Brasil e Floresta Amazônica de qual seria a relação entre as propriedades rurais com energia elétrica com o desmatamento. Isto é, o acesso à eletricidade como agente de desenvolvimento econômico seria mais um fator que contribuiu para o desmatamento ou para reduzi-lo?

Portanto, este estudo analisa qual seria a relação entre o número de estabelecimentos rurais com energia elétrica e as taxas de desmatamento na Amazônia Legal, controlando por características tanto dos municípios desta região quanto das propriedades rurais.

4. BASE DE DADOS

A base de dados consiste em observações anuais para 759 municípios da Amazônia Legal para três anos de referência do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - 1996, 2006, 2017, totalizando 2277 observações em um painel balanceado⁴. O estudo do desmatamento se concentra nas áreas naturais de floresta da Amazônia Legal Brasileira. Todas as variáveis foram padronizadas e foram considerados os erros padrão robustos na estimação dos resultados.

A medida de desmatamento, *desmatamento*, é o estoque da área desmatada no município, ou taxa anual acumulada, e representa a eliminação de cobertura florestal primária por corte raso, de forma independente do propósito futuro dessas áreas (INPE, 2020) Para o ano de 1996, foi preciso realizar uma etapa adicional para a obtenção do desmatamento, porque o

⁴ Algumas variáveis tinham observações *missing* para alguns municípios do período estudado. Para resolver esse problema, estimativas ponderadas geograficamente foram geradas para essas observações.

Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza o desmatamento acumulado municipal somente a partir de 2000 (INPE, 2020). O PRODES fornece a informação sobre o total desmatado para o ano de 1996, mas não por município. Esse valor total foi distribuído entre os municípios considerando a estrutura do desmatamento municipal do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2020). Para os demais anos, 2006 e 2017, foi considerado os dados oficiais divulgados pelo INPE. A escolha pelos dados do INPE é justificada por esse instituto de pesquisa ser o responsável oficial pelo monitoramento do desmatamento da Amazônia Legal. Além disso, possui uma ampla experiência e metodologia consolidada de geração de dados de desmatamento. A. Primeiramente, com dados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2020), foi utilizada a diferença na área de floresta até 1996, ou seja, o desmatamento acumulado até 1996. A equação 1 é o somatório do desmatamento em cada município, n , de mesmo estado.

$$d_{jt} = \sum_{i=1}^n \Delta A_{it}, \quad j = 1, \dots, 9 \quad (1)$$

onde d_{jt} é o desmatamento acumulado em cada estado, j , até 1996. A equação 2 mostra o cálculo do peso de cada município na área desmatada total do estado em 1996 denotado por, D_{it} .

$$D_{it} = \frac{\Delta A_{it}}{d_{jt}} \quad (2)$$

Devido à diferença metodológica, foi necessário equalizar o desmatamento total municipal de 1996 obtido do MapBiomias com os dados do INPE, a fim de que esse dado possa ser comparado com os dados de 2006 e 2017. O percentual encontrado na equação 2 é, então, multiplicado pela área desmatada total em cada estado em 1996 disponibilizada pelo INPE, $Desmatamento_{jt}$. O resultado dessa multiplicação é a variável dependente de desmatamento de 1996 para realizar as estimações, $desmatamento_{it}$.

$$desmatamento_{it} = D_{it} \times Desmatamento_{jt} \quad (3)$$

Para os anos de 2006 e 2017, foi considerado o desmatamento acumulado divulgado pelo INPE.

As variáveis *Estabelecimentos com Eletricidade* e *Percentual Estabelecimentos com Eletricidade* são, respectivamente, o número de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica e o percentual de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica em cada município. *Estabelecimentos com Eletricidade* seria a variável explicativa de interesse, usada como proxy para o número de domicílios rurais com acesso à energia elétrica, sob a hipótese de que a eletrificação rural ajudaria na redução do desmatamento. Ou seja, a promoção do acesso à energia elétrica em larga escala poderia incentivar a redução do consumo de materiais florestais, como lenha, pelas comunidades rurais para suprir suas necessidades energéticas e, conseqüentemente, o desmatamento. Além disso, o incentivo a desmatar dos produtores agropecuários pode ser reduzido, porque o acesso à energia contribuiria com o aumento da produtividade agrícola, tornando desnecessário a expansão das áreas produtivas para a expansão da produção. O *Percentual Estabelecimentos com Eletricidade* será utilizado como instrumento para o número de estabelecimentos com acesso à eletricidade.

Dados obtidos no Censo Demográfico de 1991 (IBGE, 1992) mostram que, a população dos municípios da Amazônia Legal era predominantemente rural, com uma média de 64,5% da

população vivendo na zona rural. Esses dados foram utilizados para obter a variável de número e porcentagem de domicílios com energia elétrica do ano de 1996, já que não existe dados oficiais de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica disponível para o ano estudado. Então, para 1996, o cálculo da *Estabelecimentos com Eletricidade* foi feito multiplicando os dados de percentual de domicílios com energia elétrica do Censo de 1991 (IBGE, 1992) pelo número de estabelecimentos agropecuários em 1996 do Censo Agropecuário (IBGE, 1995). Para os anos de 2006 e 2017, a variável foi obtida a partir da razão entre o número de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica e o número total de estabelecimentos agropecuários em cada município disponibilizados no Censo Agropecuário (IBGE, 2012, 2019b).

O *PIB pc* é o PIB *per capita* dos municípios, calculado como a razão do Produto Interno Bruto (PIB) a preços constantes (R\$ 2000) e a população total disponibilizados pelo IBGE, (1996, 2017, 2020) . O PIB *per capita* é incluído para controlar o efeito de economia de escala dos municípios. A hipótese é de que o desmatamento deve ser maior para municípios com maior nível de PIB *per capita*. Será acrescentado também o PIB *per capita* ao quadrado, *PIB pc2* para testar a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, de que existe uma relação de U invertido entre o desmatamento e o PIB *per capita*.

O indicador de grau de abertura econômica, *Grau Abertura*, é o volume total de produtos comercializados com o mercado exterior, correspondendo à soma das exportações e importações como proporção do PIB. Os dados de exportação e importação foram obtidos do Comexstat do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (BRASIL, 2020). O grau de abertura econômica está relacionado com fatores geográficos, que podem afetar o grau de exploração de madeira, e com fatores locais como, transporte, estradas e disponibilidade de crédito. A hipótese é de que o grau de abertura pode estar positivamente associado com o desmatamento nos municípios da região amazônica (FARIA; ALMEIDA, 2016).

Ainda para identificar como as atividades produtivas da região podem afetar o desmatamento, foram incluídas as variáveis *Lavoura Temporária*⁵, *Lavoura Permanente*⁶, *Pecuária e Extração Vegetal*⁷ disponíveis no Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019b). Essas variáveis indicam o número de estabelecimentos rurais com essas atividades em cada município. Ao longo dos anos essas atividades se expandiram por conta do crescimento da demanda mundial em conjunto com a valorização do preço das *commodities* agrícolas e a desvalorização do real em relação ao dólar.

Para avaliar o efeito populacional foi incluída a variável e população rural nos municípios, *População rural*, obtido do Censo (IBGE, 1992, 2003, 2013). O sinal da relação entre percentual da população rural e desmatamento pode ser tanto negativo quanto positivo (FEARNSIDE, 2017). É incluída a população rural e não a população urbana ou total do município, para capturar o efeito da proximidade dos habitantes sobre os recursos naturais. Maior concentração da população em zonas rurais tende a aumentar a pressão sobre os recursos naturais, expandindo o desmatamento. Por outro lado, quando essa população rural reduz, devido a uma migração para os centros urbanos, a pressão por maiores áreas desmatadas nessas localidades se reduz.

Foram incluídas outras variáveis que podem ajudar a explicar o processo de desmatamento no Brasil, como os direitos de propriedade. De acordo com Fearnside (2017),

⁵ Somatório dos estabelecimentos com atividade principal de arroz, milho, trigo, outros cereais, algodão, cana-de-açúcar, fumo, soja, abacaxi, amendoim, batata inglesa, cebola, mandioca, feijão, juta, mamona, melão, tomate, outros.

⁶ Somatório dos estabelecimentos com atividade principal de café, cacau, uva, banana, caju, coco da baía, pimenta do reino, chá da índia, maçã, mamão, manga, maracujá, outros.

⁷ Somatório dos estabelecimentos com atividades extrativista de madeira nativa como, madeira extrativista, não madeireiros extrativos, borracha extrativa, carvão vegetal madeira nativa.

estabelecimentos agropecuários de médio (101-1000 ha) e grande porte (>1000 ha) tem sido um dos principais causadores do desmatamento. Contudo, ainda de acordo com o autor, pequenos (< 100 ha) e micro (<10ha) produtores tem aumentado sua participação no desmatamento da Floresta Amazônica. Assim, é necessário considerar o número de estabelecimentos para cada tamanho de área em cada município, isto é, estabelecimentos com área menor que 10ha (Micro), área menor que 100ha (Pequeno), entre 101 e 1000ha (Médio) e maior que 1000ha (Grande) (IBGE, 1995, 2012, 2019b).

Outra questão relacionada aos direitos de propriedade é a posse da terra (FEARNSIDE, 2001; FEARNSIDE, 2017). Grande parte das terras na Amazônia Brasileira é de domínio público. Aquelas que passam para o domínio privado, muitas vezes, foram, inicialmente, invadidas por pequenos posseiros ou por grileiros que, posteriormente, tem as reivindicações reconhecidas pelo governo, obtendo assim, o título da posse da terra. Esse título de posse da terra é dado aos posseiros ou grileiros após eles provarem que fizeram alguma benfeitoria na terra invadida, tal como, plantação ou criação de gado. Ou seja, aqueles que invadem a terra desmatam para que possam começar atividades de agricultura ou pecuária e, posteriormente, obter o título de posse da terra. Então, para explicar esse efeito foi incluída a variável de *Percentual Proprietário*, que estão incluídas as propriedades de assentamentos oficiais, adquiridas de forma oficial e concedidas. Ela representa a proporção do número de estabelecimentos agropecuários com proprietários (IBGE, 1995, 2012, 2019b).

Foram considerados também controles para áreas legalmente protegidas. No Brasil, as áreas protegidas incluem as terras indígenas, *Terra Indígena*, e as unidades de conservação, *Unidades Conservação*. A criação de unidades de conservação e o reconhecimento de terras indígenas são recursos utilizados para combater o desmatamento ao redor do mundo (ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, 2020). Os dados sobre a área das unidades de conservação sem distinção de esfera administrativa (federal, estadual, municipal) são disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2020c). Os dados sobre a área das terras indígenas são disponibilizados pelo Programa de Monitoramento de Áreas Protegidas do Instituto Socioambiental - ISA (2020)⁸.

Serão incluídas como instrumentos as variáveis que indicam o número de estabelecimentos rurais dirigidos por produtores analfabetos (*Analfabeto*), com ensino fundamental (*Fundamental*), médio (*Médio*) e superior (*Superior*) disponíveis no Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019b). O nível de escolaridade dos produtores que dirigem os estabelecimentos agropecuários seria um fator que influencia no número de estabelecimentos com acesso à eletricidade.

ESTRATÉGIA EMPÍRICA

A análise de regressão utilizou dados em painel balanceado dos municípios, com variáveis explicativas ao longo do tempo e entre os municípios da Amazônia Legal para identificar os efeitos do acesso à energia elétrica pelos estabelecimentos agropecuários sobre o desmatamento, controlando por fatores econômicos, de direitos de propriedade e climáticos. A especificação para investigar essa relação tem a seguinte forma:

$$desmatamento_{it} = \alpha + \beta X_{it} + \gamma R_{it} + \rho E_{it} + \mu_i + \varphi_t + u_{it},$$

$$i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

⁸ Unidades de conservação incluem área de proteção ambiental, área de relevante interesse ecológico, estação ecológica, floresta, monumento natural, parque, refúgio de vida silvestre, reserva biológica, reserva de desenvolvimento sustentável, reserva extrativista e reserva partícula do patrimônio natural. Foram consideradas apenas as unidades de conservação e as terras indígenas que são homologadas ou registradas.

onde a variável dependente, $desmatamento_{it}$, é a área desmatada no ano t e município i . O vetor de variáveis explicativas observadas dos municípios, X_{it} , inclui PIB *per capita*, grau de abertura econômica e tamanho da população rural. R_{it} , é o vetor de variáveis observadas das características dos estabelecimentos nos municípios, tais como, o tamanho dos estabelecimentos, a atividade exercida nesses estabelecimentos, estabelecimentos com proprietários. E_{it} é o número de estabelecimentos agropecuários com acesso à energia elétrica. Os termos, μ_i e φ_i , representam, respectivamente, as características não observadas dos municípios e dos estabelecimentos rurais dos municípios. u_{it} é o termo de erro, e α, β, γ e ρ são os parâmetros a serem estimados.

4.1 Endogeneidade

A especificação de efeitos fixos garante que as características não observadas dos municípios sejam controladas. Contudo, ainda existe a preocupação de que características específicas dos estabelecimentos agropecuários e dos municípios na dinâmica do desmatamento na Amazônia também possam afetar algumas das variáveis explicativas ou, ainda, sejam especificadas em conjunto pelos fatores não observados. Essa questão pode afetar variáveis econômicas causando efeitos endógenos ao desmatamento, o que poderia enviesar os coeficientes estimados.

Se a eletrificação dos estabelecimentos rurais nos municípios ocorresse de forma aleatória, então a estimação do modelo (5) poderia resultar em estimativas não viesadas do impacto da eletrificação nas taxas de desmatamento. Entretanto, os estabelecimentos em cada município não são aleatoriamente selecionados pelas concessionárias de energia para receber a conexão. Assim, podem existir duas fontes de endogeneidade para a variável do número de estabelecimentos rurais com acesso à eletricidade. A primeira poderia ser causada pela decisão política de beneficiar alguns municípios em detrimento de outros. Ou seja, se o prefeito de um município é do mesmo partido que o presidente da república ou governador, este município poderia receber mais investimentos para expansão da rede elétrica do que outro que tivesse a mesma necessidade, mas o prefeito seria de um partido da oposição. Ou ainda, um município poderia optar ou não em participar de um programa de promoção da expansão da eletrificação rural lançado pelo governo federal.

Mas, existem evidências de que este problema não tem acontecido nos programas de expansão da eletrificação rural no Brasil. O Programa Luz Para Todos é coordenado pelo MME, que também é responsável pela estrutura operacional, procedimentos e critérios técnicos, financeiros e de priorização de obras (ELETROBRAS, 2019). Os recursos são liberados e as obras executadas de acordo com a demanda identificada pelos agentes do LPT nos municípios. Estes agentes trabalham próximos às comunidades locais informando sobre o programa e seus benefícios e são um canal de comunicação entre a comunidade e os agentes executores. Dessa forma, a população residente nas comunidades pode solicitar a conexão de seus domicílios a rede de energia. Os agentes, então, identificam e selecionam a melhor tecnologia disponível de acordo com as condições locais, elaboram um plano de trabalho para ser aprovado pelo MME antes da execução das obras (BRASIL, 2018a; ELETROBRAS, 2019; GÓMEZ; SILVEIRA, 2012).

Esta dinâmica aponta que o modelo orientado pelo lado da oferta de usinas de energia construídas de acordo com os recursos hídricos disponíveis e complementadas com a construção de extensas linhas de transmissão e distribuição foi abandonado. A expansão da eletrificação é realizada com um modelo orientado pelo lado da demanda. Isto é, as obras de expansão são planejadas e executadas de acordo com a demanda dos produtores dos estabelecimentos agropecuários. Portanto, não existiria a endogeneidade causada por vies

político, já que a ampliação do acesso à energia é determinada pelo lado da demanda e não pela oferta.

A segunda fonte de endogeneidade pode ocorrer por causa desse modelo orientado pelo lado da demanda. Como a decisão de conectar ou não um estabelecimento à eletricidade é tomada pelo produtor que dirige os estabelecimentos rurais, ela é baseada em características observadas e não observadas desses produtores, tais como, escolaridade. Nesse caso, se a possibilidade de endogeneidade na conexão à eletricidade for ignorada, os impactos estimados pela equação (5) serão viesados. Para resolver esse problema de endogeneidade, é preciso um instrumento para o número de estabelecimentos rurais com acesso à eletricidade.

Seguindo a metodologia empregada por Khandker *et al.* (2014), será construído e utilizado um vetor de instrumentos que afetariam a demanda por eletricidade, mas não diretamente o desmatamento. Este vetor de instrumentos inclui uma variável indicando a proporção de estabelecimentos com eletricidade no município i , quatro variáveis dos níveis de escolaridade dos produtores maiores de 25 anos – produtores analfabetos, com ensino fundamental, ensino médio e ensino superior - e também, a interação entre o percentual e cada uma das variáveis de escolaridade, totalizando, sete variáveis instrumentais.

Espera-se que a proporção de estabelecimentos rurais com eletricidade no município seja uma VI válida por causa do efeito de pares. Isto é, a pressão dos pares (estabelecimentos vizinhos) provavelmente afetará a tomada de decisão de solicitar a ligação a rede de energia de outro estabelecimento, já que as pessoas tendem a seguir seus vizinhos nas comunidades rurais. Desse modo, espera-se que, quanto maior a porcentagem de estabelecimentos rurais nos municípios com energia elétrica, maior a probabilidade que outros estabelecimentos da mesma localidade adotem eletricidade. A taxa de desmatamento será afetada indiretamente por esses instrumentos pelo acesso à eletricidade.

Lembrando que na abordagem por variável instrumental (VI), para que o instrumento seja válido, é preciso que ele atenda a duas condições. Todos os instrumentos serão utilizados em conjunto na estimação por Variáveis Instrumentais de Efeitos Fixos.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção traz a discussão sobre os efeitos dos estabelecimentos com acesso à eletricidade no desmatamento na Amazônia Legal. O resultado das estimações por mínimos quadrados empilhados (POLS), Efeitos Fixos (EF) e Efeito Aleatório (EA) são apresentados na Tabela 1. Todas as variáveis utilizadas nas regressões foram padronizadas e os erros padrão são robustos. O Teste de Hausman sugere que as estimativas por efeitos fixos são consistentes e mais eficientes em relação às estimativas por efeitos aleatórios e, em geral, as variáveis apresentaram os resultados esperados.

A análise inicial traz evidências de que o número de estabelecimentos com energia elétrica seria uma variável significativa para explicar o desmatamento. Mais do que isso o acesso à energia elétrica estaria relacionado com a redução do desmate de áreas de floresta na Amazônia Legal. Como mostram os resultados na Tabela 1, o aumento em 1% no número de estabelecimentos rurais com acesso à energia reduziria em, aproximadamente, 13% a devastação das áreas de floresta. Este resultado confirma as evidências encontradas por Allen e Barnes, (1985); Bernard (2012); Tanner e Johnston (2017), indicando que, a promoção do acesso à energia elétrica nas comunidades rurais, pode reduzir as pressões ambientais e facilitar o processo de desenvolvimento sustentável.

Os resultados para o PIB *per capita* indicam que essa variável contribuiria para a expansão do desmatamento. Analisando conjuntamente o resultado dessa variável com o PIB *per capita* ao quadrado para testar a Curva de Kuznets Ambiental, é possível perceber que existiria uma relação de U invertido entre o desmatamento e o PIB *per capita*. Ou seja, essa

relação de U invertido indica que a expansão do desmatamento ocorreria, no primeiro momento, relacionada com o crescimento econômico. Após os municípios atingirem o ponto máximo de crescimento, ocorreria uma redução no desmatamento. Esse achado evidencia os efeitos das políticas ambientais implementadas a partir de 2004 – PPCDAm, Política Nacional sobre Mudança do Clima – que ajudou na redução do desmatamento, como mostra a Figura 1.

O indicador de população rural teria efeito positivo e significativo no desmatamento. Resposta semelhante a encontrada por Allen e Barnes (1985), Andersen (1996), Diniz *et al.* (2009) e Jusys (2016). Os resultados para Grau de Abertura mostram que esta variável teria um efeito negativo, mas não significativo nas estimações, diferentemente da evidência encontrada por Faria e Almeida (2016) para a mesma região. Este efeito pode ser uma consequência do maior monitoramento sobre a exportação de soja nessas regiões, que pode ter afetado a exportação nessa região.

Os resultados para as variáveis das atividades praticadas nos estabelecimentos rurais, lavoura temporária, lavoura permanente, pecuária e extração vegetal de floresta nativa, teriam uma relação positiva e significativa com o desmatamento na região da Amazônia Legal. Esse resultado era esperado, já que o desmatamento na Amazônia seria mais sensível às influências globais, como o mercado de *commodities* e avanços tecnológicos que favoreceram a expansão da plantação de grãos, como a soja (NEPSTAD *et al.*, 2014). Apesar do Acordo da Pecuária assinado em 2009⁹, a pecuária seria a atividade que mais afetaria a devastação das áreas de florestas, indicando que a expansão da atividade em 1% expandiria o desmatamento em, aproximadamente, 75%.

Das variáveis que indicam o tamanho dos estabelecimentos agropecuários, aquelas que representam os micros, pequenos e médios produtores contribuiriam para a redução do desmatamento na Amazônia Legal. Por outro lado, os grandes produtores contribuiriam para a expansão das áreas desmatadas. De acordo com Fearnside (2017), os médios e grandes produtores tem sido os principais causadores do desmatamento. Entretanto, os pequenos produtores têm aumentado a participação na degradação ambiental. O indicador de direitos de propriedade (*Proprietário*) estaria positivamente associado com o desmatamento, entretanto, o resultado não apresentou significância estatística. Esse resultado já era esperado, porque a incerteza quanto à propriedade na terra, muitas vezes está associada à expansão do desmatamento.

A variável de *Unidade Conservação* foi significativa apenas na estimação por POLS. Além disso, o efeito positivo de *Terras Indígenas* sobre o desmatamento evidencia que as áreas protegidas não seriam tão protegidas como se assume. Principalmente, pelo fato de que essas terras são extensas, dificultando a fiscalização contra a invasão e instalação de grileiros.

A Tabela 2 mostra os resultados das estimações por Efeitos Fixos utilizando variáveis instrumentais (VI). Nessas estimações foram utilizados instrumentos para o Número Estabelecimentos Agropecuários com Acesso à Eletricidade. Foram empregados o percentual de estabelecimentos agropecuários com acesso à eletricidade, as variáveis de escolaridade dos produtores e a interação entre elas para instrumentalizar a variável endógena. O Teste de Kleibergen-Paap Wald F statistic (Teste F dos instrumentos) foi significativo, indicando que os instrumentos são altamente correlacionados com a variável endógena. O teste Kleibergen-Paap LM statistic (Teste de Subidentificação) também foi significativo, indicando que a matriz dos coeficientes da forma reduzida tem rank cheio. Ou seja, o modelo com as variáveis instrumentais utilizadas é identificado.

A variável de eletrificação rural que foi instrumentalizada se manteve significativa, com mesmo sinal, porém, o seu efeito sobre o desmatamento foi ampliado. Este resultado confirmaria, então, que a promoção da eletrificação rural e de desenvolvimento das

⁹ Informações mais detalhadas sobre Moratória da Soja e Acordo da Pecuária podem ser encontradas em Fearnside (2017) e Nepstad *et al.* (2014).

comunidades rurais, como o programa LPT, poderia, também, favorecer a preservação das áreas de floresta em países tropicais.

Tabela 1 – Resultados das Regressões

Variáveis Independentes	POLS	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios
Estabelecimentos com acesso à eletricidade	-0.1616*** (0.0446)	-0.1321*** (0.0319)	-0.1433*** (0.0311)
Grau de Abertura	-0.0173 (0.0122)	-0.0335 (0.0271)	-0.0296 (0.0185)
PIB <i>per capita</i>	0.1418*** (0.0395)	0.2195*** (0.0319)	0.1890*** (0.0352)
PIB <i>per capita</i> ao quadrado	-0.0768** (0.0312)	-0.1363*** (0.0257)	-0.1134*** (0.0276)
População Rural	0.1149* (0.0635)	0.0237** (0.0121)	0.0662* (0.0382)
Micro	-0.1222*** (0.0330)	-0.1028*** (0.0353)	-0.1088*** (0.0322)
Pequeno	0.0105 (0.0313)	-0.2479*** (0.0472)	-0.1157*** (0.0359)
Médio	-0.0651** (0.0258)	-0.1569*** (0.0381)	-0.1052*** (0.0277)
Grande	0.2520*** (0.0419)	0.3419*** (0.0779)	0.2692*** (0.0612)
Percentual Proprietário	0.0199 (0.0133)	0.0026 (0.0143)	0.0045 (0.0126)
Lavoura Temporária	0.1779*** (0.0269)	0.0778*** (0.0270)	0.1139*** (0.0289)
Lavoura Permanente	0.1065*** (0.0200)	0.1295*** (0.0232)	0.1327*** (0.0246)
Pecuária	0.6142*** (0.0483)	0.7494*** (0.0528)	0.7141*** (0.0550)
Extração Vegetal	0.0632*** (0.0182)	0.0949*** (0.0305)	0.0889*** (0.0246)
Unidades Conservação	0.0299* (0.0166)	0.0169 (0.0293)	0.0319 (0.0301)
Terra Indígena	0.0911*** (0.0271)	0.0346** (0.0145)	0.0689** (0.0296)
Constante	0.0000 0.0140	0.0000*** (0.0000)	0.0000 (0.0216)
N	2277	2277	2277
R ² -ajustado	0.5540	0.6307	0.6131
Hausman		49.96***	

Fonte: Elaboração própria.

Notas: Desmatamento é a variável dependente. R² ajustado para o POLS, para efeitos fixos e aleatórios utilizou-se o R² *within*. Os erros-padrão robustos são reportados entre parênteses. *p < 0.10; ** p < 0.05; *** p < 0.01

As variáveis PIB *per capita* e PIB *per capita* ao quadrado apresentaram coeficientes significativos, com os mesmos sinais em relação à primeira estimação, confirmando a evidência da existência da relação de U invertido entre o desmatamento o PIB *per capita*, confirmando a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado da Regressão de Efeitos Fixos com Variável Instrumental

Variáveis Independentes	Efeitos Fixos com VI
Estabelecimentos com acesso à eletricidade	-0.1432*** (0.0363)
Grau de Abertura	-0.0331 (0.0238)
PIB <i>per capita</i>	0.2209*** (0.0302)
PIB <i>per capita</i> ao quadrado	-0.1370*** (0.0257)
População Rural	0.0238** (0.0113)
Micro	-0.0992*** (0.0343)
Pequeno	-0.2458*** (0.0448)
Médio	-0.1560*** (0.0374)
Grande	0.3422*** (0.0692)
Percentual Proprietário	0.0028 (0.0132)
Lavoura Temporária	0.0789*** (0.0253)
Lavoura Permanente	0.1314*** (0.0232)
Pecuária	0.7537*** (0.0505)
Extração Vegetal	0.0984*** (0.0291)
Unidades Conservação	0.0163 (0.0254)
Terra Indígena	0.0337** (0.0135)
N	2277
Teste F dos Instrumentos	402.550***
Teste de Subidentificação	332.425***
R ²	63.06

Fonte: Elaboração própria.

Notas: A variável dependente é Desmatamento. A variável número de estabelecimentos rurais com energia elétrica foi instrumentalizada com as variáveis percentual de estabelecimentos rurais com energia elétrica, escolaridade dos produtores maiores de 25 anos (analfabetos, com ensino fundamental, ensino médio ou ensino superior) e a interação entre essas variáveis. *p < 0.10; ** p < 0.05; *** p < 0.01

Os coeficientes estimados das variáveis que indicam a atividade econômica dos estabelecimentos foram um pouco maior e permaneceram significativos. Mais do que isso, a pecuária seria a principal causa do desmatamento na região. O que indica que a expansão da fronteira agrícola e a exploração de recursos florestais seriam fatores significativos no desmatamento da Amazônia Legal, confirmando as evidências encontradas por, Allen e Barnes (1985); Diniz *et al.* (2009); Oliveira *et al.* (2011); Faria e Almeida (2016); Jusys (2016).

Os indicadores de área dos estabelecimentos rurais, micro, pequeno, médio e grande, permaneceram significativos. Este resultado evidencia que na região amazônica os grandes latifúndios (com área maior que 1000ha), que estão associados às atividades exportadoras, contribuem para a expansão do desmatamento. Por outro lado, os micro e pequenos produtores, que estão associados com a agricultura familiar, de subsistência, possuem poucos recursos para expandir sua produção, seriam elementos que contribuiriam para redução do desmatamento. De acordo com Harrison e Popke (2011), a oferta de meios alternativos de energia para a lenha para atender as necessidades básicas desses produtores pode reduzir as pressões do desmatamento. Ou seja, em qualquer localidade que melhores fontes de energia se tornem disponíveis e acessíveis, a população tenderá a aumentar rapidamente o consumo dessa energia.

A variável de unidades de conservação permaneceu não significativa, tal resultado não era esperado. No entanto, esse resultado confirma a evidência encontrada por Assunção e Gandour (2020) de que, embora as áreas de proteção sejam eficazes na proteção das florestas dentro de suas fronteiras, o efeito dessas áreas sobre os níveis agregados de desmatamento seria insignificante. Por outro lado, a variável de terras indígenas indicou que um aumento em suas áreas seria um elemento de expansão do desmatamento.

6. CONCLUSÃO

O objetivo do estudo foi examinar a relação da eletrificação rural com as taxas de desmatamento dos municípios da Amazônia Legal, controlando por fatores econômicos, populacionais e educacionais. Para atingir tal objetivo, um painel de dados balanceado com informações de 759 municípios para os anos 1996, 2006 e 2017 foi utilizado. Para explicar a relação entre desmatamento e eletrificação rural foi utilizado o número de estabelecimentos rurais com acesso à energia elétrica. O acesso a fontes de energia modernas pode promover desenvolvimento econômico e melhoria do modo de vida em sociedades rurais. A expansão da eletrificação rural pode reduzir pressões ambientais e facilitar o processo de desenvolvimento sustentável, reduzindo a necessidade de buscar o desmatamento para obter energia.

Contudo, essa expansão da eletrificação das áreas rurais não ocorre de forma aleatória, ela ocorre de acordo com a demanda feita pelos moradores. Assim, características dos produtores como, a escolaridade, podem influenciar no número de estabelecimentos com acesso à energia elétrica. Além disso, o percentual desses estabelecimentos com acesso à eletricidade na comunidade poderia influenciar os produtores a solicitar a ligação da energia elétrica em seu estabelecimento. Diante disso, o número de estabelecimentos com acesso à energia elétrica foi instrumentalizado pelo percentual desses estabelecimentos, as variáveis de escolaridade e a interação entre elas.

A evidência empírica obtida indica que a expansão da eletrificação rural na Amazônia Legal contribuiria para a redução do desmatamento na região. Indicando que políticas de promoção da eletrificação rural podem reduzir as pressões ambientais e facilitar o processo de desenvolvimento sustentável. Mais do que isso, a expansão da eletrificação em comunidades rurais, pode não só, fortalecer o desenvolvimento econômico dessas regiões, mas também, contribuir para a preservação das áreas de floresta.

A relação entre o PIB *per capita* e o desmatamento é dada em formato de U invertido, confirmando a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental. Esse resultado aponta que ocorreria expansão do desmatamento, num primeiro momento, com o crescimento econômico e, no longo prazo, após atingir um certo nível de renda, existiria uma contração na degradação ambiental. Além disso, o PIB *per capita*, em conjunto com a pecuária e a quantidade de estabelecimentos rurais com área maior que 1000ha seriam os fatores que mais contribuiriam para a expansão da área desmatada na Amazônia Legal. Os incentivos econômicos para a expansão das áreas de pastagem são atraentes, a menos que sanções sejam aplicadas para desencorajar esse

movimento. As áreas de conservação não apresentaram resultados significativos no estudo de que essas áreas não têm impacto significativo sobre o nível agregado do desmatamento.

Os planos ambientais, PPCDAm e Política Nacional para Mudanças Climáticas, mostram que a governança pode promover o desenvolvimento sustentável. O Estado é geralmente o único agente que pode fornecer às populações rurais substitutos eficazes para fontes de energia de baixa qualidade, dado os *sunk costs* significativos da instalação inicial e manutenção a longo prazo do sistema elétrico.

A expansão da eletrificação rural tem sido bem-sucedida em promover o desenvolvimento sustentável, reduzindo a degradação ambiental. Contudo, a eletrificação de comunidades remotas e menos desenvolvidas ainda é um desafio, como no caso do Amapá e Roraima, com sistemas elétricos pouco integrados e sem alternativas para o fornecimento de energia em caso de pane. Portanto, para continuar promovendo o desenvolvimento sustentável é preciso expandir o acesso à energia elétrica para essas regiões em conjunto com as políticas ambientais, o que favorece o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental.

Referências

- AHMED, K. et al. The linkages between deforestation, energy and growth for environmental degradation in Pakistan. **Ecological Indicators**, v. 49, n. 2014, p. 95–103, 2015.
- ALLEN, J. C.; BARNES, D. F. The Causes of Deforestation in Developing Countries. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 75, n. 2, p. 163–184, 15 jun. 1985.
- AMARAL, L.; MILITÃO, E. Sem linha de energia, Roraima está sob risco de repetir apagão do AP. **UOL**, 2020.
- ANDERSEN, L. E. The causes of deforestation in the Brazilian amazon. **Journal of Environment and Development**, v. 5, n. 3, p. 309–328, 1996.
- ANDERSEN, L. E.; REIS, E. J. **Deforestation, development, and government policy in the Brazilian Amazon: An econometric analysis.**: Texto para Discussão, n. 69. Brasília: Instituto de Economia Aplicada (IPEA), 2015.
- ANEEL. Brasil alcança 170 mil megawatts de capacidade instalada em 2019. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 10 jan. 2020.
- ANGELSEN, A. Agricultural expansion and deforestation: Modelling the impact of population, market forces and property rights. **Journal of Development Economics**, v. 58, n. 1, p. 185–218, 1999.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the causes of deforestation: Lessons from economic models. **World Bank Research Observer**, v. 14, n. 1, p. 73–98, 1999.
- ARIMA, E. Y. et al. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, n. 2014, p. 465–473, 2014.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C. **Áreas protegidas, embora críticas, não são suficientes para desacelerar o desmatamento na Amazônia: O Brasil precisa de políticas de conservação direcionadas e coordenadas.** Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative (CPI), 2020.
- ASSUNÇÃO, J. et al. Agricultural productivity and deforestation in Brazil. **Climate Policy Initiative (CPI)**, p. unpublished manuscript, 2017.
- ASSUNÇÃO, J. et al. Does Credit Boost Agriculture? Impacts on Brazilian Rural Economy and Deforestation. **Climate Policy Initiative (CPI)**, p. 1–35, 2019.
- BABIGUMIRA, R. et al. Forest Clearing in Rural Livelihoods: Household-Level Global-Comparative Evidence. **World Development**, v. 64, n. S1, p. S67–S79, 2014.
- BARROS, P. S. A crise no Amapá e a integração energética da América do Sul. **Folha de São Paulo**, 23 nov. 2020.

BERNARD, T. Impact analysis of rural electrification projects in Sub-Saharan Africa. **World Bank Research Observer**, v. 27, n. 1, p. 33–51, 2012.

BRASIL. **Exportação e Importação Municípios**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/municipio>>. Acesso em: 9 ago. 2020.

BRASIL. **Lei Nº 2308**. Brasília: Congresso Nacional, 31 ago. 1954. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L2308.htm>. Acesso em: 19 dez. 2020

BRASIL. **Lei Complementar Nº 124**. Brasília: Congresso Nacional, 3 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp124.htm>. Acesso em: 9 ago. 2020

BRASIL. **PLANO AMAZÔNIA SUSTENTÁVEL (PAS)**. **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**. Brasília: 2008.

BRASIL. **Programa de Eletrificação Rural**. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp>. Acesso em: 10 ago. 2020a.

BRASIL. **Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): fase 2016-2020**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudança do Clima e Florestas, Departamento de Florestas e Combate ao Desmatamento, 2018b.

BRASIL. **Programa Nacional De Universalização Do Acesso E Uso Da Energia Elétrica Na Amazônia Legal: Manual De Operacionalização Do Programa Mais Luz Para A Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2020a.

BRASIL. **Ministro aprova Manual de Operacionalização do Programa Mais Luz para a Amazônia**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9IcdBICN/content/ministro-aprova-manual-de-operacionalizacao-do-programa-mais-luz-para-a-amazonia>. Acesso em: 20 out. 2020b.

BRASIL. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs.html>>. Acesso em: 9 ago. 2020c.

COOK, P. Infrastructure, rural electrification and development. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. 3, p. 304–313, 2011.

DINDA, S. Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. **Ecological Economics**, v. 49, n. 4, p. 431–455, 2004.

DINIZ, M. B. et al. Causas do desmatamento da Amazônia: Uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 121–151, 2009.

ELETRONORTE. **Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Luz-para-Todos.aspx>>. Acesso em: 9 ago. 2020.

ELETRONORTE. **Mapa Evolução Transmissão - Rede Básica - 1960 a 2018**. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Transmissao/MapaEvolucaoTransmissao-RedeBasica-de-1960-a-2018-INTERATIVO.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

ELETRONORTE. **Geração de energia**. Disponível em: <<https://www.eletronorte.gov.br/geracao-de-energia/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

EPE. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2024 - Ciclo 2019**. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA p. 56, 2019.

FARIA, W. R.; ALMEIDA, A. N. Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 121, p. 85–97, 2016.

FEARNSIDE, P.; FEARNSIDE, P. **Deforestation of the Brazilian Amazon**. [s.l.: s.n.].

- FEARNSIDE, P. M. Land-Tenure Problems As Factors in Environmental Destruction in Brazilian Amazonia. **World Development**, v. 29, n. 8, p. 1361–1372, 2001.
- FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento recente nos estados da Amazônia legal: Uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 91–108, 2015.
- GÓMEZ, M. F.; SILVEIRA, S. Rural electrification of the Brazilian Amazon - achievements and lessons. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 6251–6260, 2010.
- GROGAN, L.; SADANAND, A. Rural Electrification and Employment in Poor Countries: Evidence from Nicaragua. **World Development**, v. 43, p. 252–265, 2013.
- HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, v. 54, n. 4, p. 471–494, 2013.
- HARRISON, C.; POPKE, J. “Because you got to have heat”: The networked assemblage of energy poverty in eastern North Carolina. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 101, n. 4, p. 949–961, 2011.
- HOSIER, R. H.; DOWD, J. Household fuel choice in Zimbabwe: an empirical test of the energy ladder hypothesis. **Resources and Energy**, v. 9, n. 4, p. 347–361, 1987.
- IBGE. **PIB Municipal a preços constantes**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 9 ago. 2020a.
- IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2002-2017**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>>. Acesso em: 9 ago. 2020b.
- IBGE. **Censo Demográfico 1991**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.
- IBGE. **Censo Agropecuário: 1995-1996**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.
- IBGE. **Atlas do censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.
- IBGE. **Censo Agropecuário: 2006 : Brasil, grandes regiões e unidades da federação : segunda apuração**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- IBGE. **Atlas do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- IBGE. **Censo Agropecuário : resultados definitivos 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal**, 2018a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 24 set. 2020
- IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal**, 2018b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2018>>. Acesso em: 24 set. 2020
- IBGE. **Amazônia Legal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 9 ago. 2020a.
- IBGE. **Estimativas da População**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- IEA. **SDG7: Data and Projections Analysis**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity#abstract>>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- INPE. **PRODES — Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 8 ago. 2020.
- INPE. **A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal (AC, AM, AP, MA, MT, PA, RO, RR e TO) em 2019 é de 10.129 km**. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5465>. Acesso em: 20

dez. 2020.

ISA. **Terras Indígenas no Brasil**. Instituto Socioambiental. Disponível em: <<https://terrasindigenas.org.br/pt-br/brasil#onde>>. Acesso em: 9 ago. 2020.

JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon. **Applied Geography**, v. 75, p. 188–199, 2016.

LAMBIN, E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, n. 4, p. 261–269, 2001.

MUNDA, G.; RUSSI, D. Social multicriteria evaluation of conflict over rural electrification and solar energy in Spain. **Environment and Planning C: Government and Policy**, v. 26, n. 4, p. 712–727, 2008.

NEPSTAD, D. et al. and Soy Supply Chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118–1123, 2014.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Sob Bolsonaro, desmatamento dobra de patamar**. Disponível em: <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/sob-bolsonaro-desmatamento-dobra-de-patamar/>>. Acesso em: 29 nov. 2020.

OLIVEIRA, R. C. DE et al. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: Uma análise da curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, p. 709–740, 2011.

ONS. **O que é o SIN**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 20 dez. 2020a.

ONS. **ONS divulga Relatório de Análise de Perturbação sobre ocorrência no Amapá**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20201207-ons-divulga-rap-ocorrencia-amapa.aspx>>. Acesso em: 20 dez. 2020b.

PEREIRA, M. G.; FREITAS, M. A. V.; DA SILVA, N. F. Rural electrification and energy poverty: Empirical evidences from Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 4, p. 1229–1240, 2010.

PRASAD, G. Energy sector reform, energy transitions and the poor in Africa. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 2806–2811, 2008.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/estatisticas>>

RUDEL, T. Is There a Forest Transition ? **Rural Sociology**, v. 63, n. 4, p. 533–552, 1998.

SAPKOTA, A. et al. Role of renewable energy technologies in rural communities' adaptation to climate change in Nepal. **Renewable Energy**, v. 68, p. 793–800, 2014.

SLOUGH, T.; URPELAINEN, J.; YANG, J. Light for all? Evaluating Brazil's rural electrification progress, 2000–2010. **Energy Policy**, v. 86, p. 315–327, 2015.

TANNER, A. M.; JOHNSTON, A. L. The Impact of Rural Electric Access on Deforestation Rates. **World Development**, v. 94, p. 174–185, 2017.

UNIVERSITY OF EAST ANGLIA CLIMATIC RESEARCH UNIT; HARIS, I. C. .; JONES, P. D. **Dataset Record: CRU TS3.26: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.26 of High-Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901- Dec. 2017)**. Centre for Environmental Data Analysis, 2019. Disponível em: <<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/7ad889f2cc1647efba7e6a356098e4f3?jump=related-docs-anchor>>. Acesso em: 9 ago. 2020

VALER, L. R. et al. Assessment of socioeconomic impacts of access to electricity in Brazilian Amazon: Case study in two communities in Mamirauá Reserve. **Energy for Sustainable Development**, v. 20, n. 1, p. 58–65, 2014.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. 2. ed. Londres: The MIT Press, 2010.