

Área 03: Geografia e História Econômica

Desmatamento de Mata Atlântica no estado do Ceará: análises da Curva de Kuznets Ambiental a partir de dados em painel, 2011 a 2017¹

Wesley Leitão de Sousa

Doutorando em Economia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Avenida da Universidade 2762, Benfica, Fortaleza, Ceará, 60.020-181, Brasil. E-mail: wesleyleitao@alu.ufc.br. Telefone: (85) 98884-5470

Guilherme Irffi

Professor do Departamento de Economia Aplicada e do Programa de Pós-Graduação em Economia (CAEN) na UFC, Avenida da Universidade 2762, Benfica, Fortaleza, Ceará, 60.020-181, Brasil. E-mail: irffi@caen.ufc.br.

Moisés Dias Gomes de Asevedo

Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Avenida Mister Hull 2977, Campus do Pici, Bloco 826, Fortaleza, Ceará, 60.440-970, Brasil. E-mail: moisesdga@gmail.com.

¹ Agradecemos os comentários e sugestões de Ana Karine J. Costa e Kamila Vieira. Erros e omissões são de nossa responsabilidade. Wesley Leitão de Sousa agradece o apoio financeiro da FUNCAP, enquanto Guilherme Irffi agradece ao CNPq.

Área 03: Geografia e História Econômica

Desmatamento de Mata Atlântica no estado do Ceará: análises da Curva de Kuznets Ambiental a partir de dados em painel, 2011 a 2017

Resumo

Esta pesquisa tem por objetivo analisar a relação entre desmatamento da Mata Atlântica e atividade econômica, sob a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, considerando os municípios do estado do Ceará. Para isto, estima-se um modelo *tobit* para dados em painel, no período de 2011 a 2017, considerando o *PIB per capita* e controlando por fatores associados tanto ao desmatamento quanto a proteção ambiental. Ao contrário do esperado, a densidade populacional e a bovinocultura suavizam a atividade do desmatamento. As evidências encontradas para a relação entre desmatamento e *PIB per capita* rejeitam a hipótese de “U-invertido”, e sim, sugerem o formato de “N”, indicando que o desmatamento na região pode ser cíclico. Desta forma, não existem indicativos para assegurar que a atividade econômica dos municípios analisados garanta por si só a proteção ambiental e o uso sustentável da Mata Atlântica e ecossistemas associados no estado do Ceará.

Palavras-chaves: Ceará, Curva de Kuznets Ambiental, Desmatamento, Mata Atlântica.

Classificação JEL: C34, Q50, Q56.

Deforestation of Atlantic Forest in the state of Ceará: analysis of the Environmental Kuznets Curve from panel data, 2011 to 2017

Abstract

This research aims to analyze the relationship between the deforestation of the Atlantic Forest and economic activity, under the hypothesis of the Environmental Kuznets Curve, considering the municipalities of the state of Ceará. For this, it is estimated a *tobit* model for panel data, in the period from 2011 until 2017, considering the *GDP per capita* and controlling for associated factors with both deforestation and environmental protection. Unlike the expectations, the population density and cattle farming soften deforestation activity. The evidence found for the relationship between deforestation and *GDP per capita* rejects the “U-inverted” hypothesis, and yes, suggests the “N” format, indicating that deforestation in the region may be cyclical. Therefore, there are no indications to ensure that the economic activity of the municipalities analyzed assure by itself the environmental protection and sustainable use of the Atlantic Forest and associated ecosystems in the state of Ceará.

Keywords: Ceará, Environmental Kuznets Curve, Deforestation, Atlantic Forest.

JEL Classification: C34, Q50, Q56.

1. Introdução

A degradação dos ecossistemas florestais se dá em razão de diversos fatores, sobretudo das atividades de origem antrópica. Nesse sentido, há uma intensa preocupação, de que, com o avanço do desenvolvimento econômico, a pressão ambiental exercida aos ecossistemas supere a capacidade de suporte do meio ambiente. A relação entre desenvolvimento econômico e degradação ambiental encontra evidência na Curva de Kuznets Ambiental (CKA), proposta inicialmente em Grossman e Krueger (1995).

A premissa da CKA é de que, em baixos níveis de desenvolvimento, o crescimento da renda *per capita* (*pc*) induz a um aumento da degradação ambiental. No entanto, a partir de certo nível de renda, essa lógica se reverteria, com o aumento da renda *pc* levando a uma redução da degradação ambiental, caracterizando uma curva no formato de “U-invertido”. Assim, Grossman e Krueger (1995) relacionaram a renda *pc* aos indicadores de qualidade da água e do ar, e encontraram evidências em diversos países desenvolvidos, de que a degradação ambiental se eleva com o incremento econômico até um ponto de inflexão a partir do qual ocorre uma melhora na qualidade ambiental resultando na CKA.

No Brasil, inúmeras pesquisas desenvolvem uma relação entre desenvolvimento econômico e indicadores de degradação ambiental. Assim, uma das pautas ecológicas mais pertinentes, diz respeito ao desmatamento em biomas nacionais, tema com foco nos domínios da Amazônia e Cerrado (COLUSSO, PARRÉ & ALMEIDA, 2012; OLIVEIRA, ALMEIDA, FREGUCLIA & BARRETO, 2011) especialmente pela extensão territorial destes ecossistemas, da expansão da fronteira agrícola nestes locais e da disponibilidade de informações. Por outro lado, observa-se um *gap* nas pesquisas que relacionam desenvolvimento econômico e alterações na cobertura florestal nos demais biomas nacionais – Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal.

Em relação a Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais², seus limites atualmente ocupam 12,4% do país, distribuídas em 17 estados³. Em consulta ao relatório “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica”, no período de 1985 a 2019, a ação antrópica desmatou na ordem de 1,95 milhões de hectares (*ha*) desta cobertura florestal. O desflorestamento no período 2018 a 2019 foi de 14.502 *ha*, 27,2% superior ao período 2017 a 2018. Dos 17 estados monitorados entre 2018 a 2019, nove, registraram desmate nulo (< 100 *ha*), a saber: AL, CE, ES, GO, PB, PE, RJ, RN, SP (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS [INPE], 2020a).

Destas regiões, destaca-se o estado do Ceará, com remanescentes da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais ocupando respectivamente 64.064 e 125.519 *ha*, ou 1,3% do estado. Da região, 61 municípios possuem resquícios da mata nativa, e portanto, em observação aos dados de desmatamento se vê que, desde 2014 o estado registra desmatamento nulo (< 100 *ha*) de Mata Atlântica, com aumento de 40% no desmate no período 2017 a 2018 e 2018 a 2019. Já em relação as áreas não-florestais, somente no período 2018 a 2019 foram desmatados 804 *ha* de restinga arbórea (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE, 2020a).

Em face ao apresentado, o objetivo geral é analisar a relação entre a degradação ambiental e atividade econômica, preconizada pela hipótese da CKA, nos 61 municípios cearenses que apresentam remanescentes da Mata Atlântica e ecossistemas associados, considerando o indicador de desmatamento. Logo, busca-se saber se há uma relação no formato de “U-invertido” entre o *PIBpc* e a área desmatada anual obtida pelo projeto “Aqui tem Mata?”, no período de 2011 a 2017, utilizando um modelo para dados em painel. Além da variável relacionada a atividade econômica, foram adicionados controles associados a: agropecuária, consumo, demografia, informações econômicas e fiscais, mercado de trabalho e aspectos geoambientais.

Embora diversas pesquisas estimem uma CKA para o Brasil a partir de diversos indicadores de desenvolvimento sustentável, nenhuma destas utilizou o desmatamento da Mata Atlântica e das áreas naturais não-florestais como *proxy* de degradação ambiental. Ademais, as análises empíricas da CKA tem como foco estados e municípios que possuem limites da Amazônia e Cerrado, ou seja, a literatura não

² Várzeas, campos de altitude naturais, refúgios vegetacionais, dunas, restinga herbácea, apicum, banhado e campo úmido.

³ Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Espírito Santo (ES), Goiás (GO), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraíba (PB), Paraná (PR), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Norte (RN), Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC), São Paulo (SP) e Sergipe (SE).

apresenta evidências para o Ceará, no que tange os domínios da Caatinga e Mata Atlântica. Portanto, a presente pesquisa contribui com a literatura da CKA para o bioma Mata Atlântica.

Para alcançar esse objetivo, optou-se por dividir o artigo em cinco seções, incluindo essa introdução. A próxima dedica-se a expor a literatura empírica sobre a CKA com foco em desmatamento. A fonte e descrição dos dados, bem como o modelo empírico, são apresentados na terceira seção. Em seguida, são expostos, discutidos e analisados os resultados. Por fim, são apresentadas as conclusões.

2. Fundamentação teórica

2.1 A literatura empírica sobre a CKA com foco em desmatamento

Para conduzir a revisão da literatura, optou-se por utilizar os descritores “*Environmental Kuznets Curve*” + “*Deforestation*” na base de dados eletrônica do *Google Scholar*. Os critérios de inclusão dos artigos foram: publicações em periódicos nacionais ou internacionais, nos idiomas inglês, português ou espanhol, com data de publicação a partir do ano de 2010, selecionando referências atualizadas e com predileção a estudos realizados em biomas brasileiros. A partir desses procedimentos de seleção, o conteúdo do artigo é avaliado considerando a área de estudo, período, metodologia e resultados.

Oliveira *et al.* (2011) investigaram o desmatamento sob a hipótese da CKA em municípios da Amazônia Legal no período de 2001 a 2006. Para tal, controlaram por indicadores relacionados a agropecuária, demografia, economia, extração florestal e mineral. O formato encontrado para CKA foi de “N-invertido”, assim, o desmatamento decresce nos níveis baixos de renda *pc*, passa por um período de aumento e volta a decrescer quando um elevado nível de renda *pc* é alcançado.

Ferreira e Coelho (2015) exploraram como os preços das *commodities* agrícolas, as políticas públicas de fiscalização e o crédito rural, têm afetado o desmatamento na região da Amazônia Legal durante os anos de 1999 a 2011. Os resultados obtidos levam a crer que os preços das *commodities* e as políticas de crédito rural aumentam o desmatamento, ao passo que as políticas de fiscalização têm auxiliado na mitigação do desmatamento.

No contexto da discussão entre o desmatamento e desenvolvimento regional, Teixeira, Bertella e Almeida (2012) investigaram a relação entre os níveis de desmate e o crescimento da renda para 139 municípios do estado do MT. Utilizando dados para o ano de 2006 estimou-se uma CKA para o desmatamento *pc* em relação a renda *pc* e seu termo ao quadrado, além da: bovinocultura/área de pastagem, a densidade demográfica, a extração de madeira *pc* e efeitos espaciais. Os resultados encontrados trouxeram a inferência de que existe uma CKA na forma de “U-invertido”, porém ao se utilizar um termo cúbico para a renda, o crescimento econômico não estaria atrelado com o desmatamento dos municípios mato-grossenses.

Colusso *et al.* (2012) discutem a relação entre degradação ambiental e atividade econômica, sob a ótica da CKA, no Cerrado brasileiro, para o ano de 2008. A variável dependente é a área desmatada de Cerrado dos municípios do bioma e, como variáveis explicativas, o *PIBpc* e suas formas quadrática e cúbica, a densidade demográfica, a área plantada e o rebanho de bovinos. A hipótese testada resultou que, em um primeiro estágio, o crescimento da renda *pc* contribui para redução do desmatamento na região; porém, o aumento contínuo da renda faz com que o desmatamento aumente novamente.

Para o MATOPIBA⁴, Barros e Stege (2019) investigaram a existência de uma CKA da relação entre desmatamento e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) nos 337 municípios da região para o ano de 2010. A Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) aliada a econometria espacial corroborou o formato da CKA de “U-invertido”. O ponto de virada, em que o desenvolvimento atinge seu máximo é um IDH de 0,57, sendo que 28,18% dos municípios estão abaixo deste valor. Além disso, os controles relacionados ao avanço da fronteira agrícola induzem o desmatamento na região.

Apesar dos artigos supracitados abordarem de forma direta o desmatamento e sua relação com o crescimento econômico, existem outros (ALMEIDA & LOBATO, 2019; BIAGE & ALMEIDA, 2015; CARVALHO & ALMEIDA, 2010) que embora não tratem de forma explícita, explicam a emissão de

⁴ Atual fronteira agrícola brasileira, o MATOPIBA abrange o bioma Cerrado dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e responde por grande parte da produção nacional de grãos e fibras (Empresa Brasileira de Agropecuária [EMBRAPA], 2020).

gases estufa como uma consequência do desmatamento e que por sua vez são afetadas pelo crescimento econômico⁵.

Carvalho e Almeida (2010) testaram a hipótese da CKA em uma amostra de 187 países para o ano de 2004. A variável dependente são as emissões de CO_2 e como variáveis independentes – o PIB_{pc} e suas formas quadráticas e cúbicas, as exportações pc , consumo de energia pc e uma *dummy* indicando os países signatários ao Protocolo de *Kyoto*. Os resultados corroboram o formato de “U-invertido”, ou seja, o crescimento econômico reduz o impacto ambiental das emissões, porém a adição do termo cúbico traz a curva no formato de “N”, demonstrando que elevados níveis de crescimento podem aumentar as emissões de CO_2 . Além disso, os países signatários ao Protocolo de *Kyoto* reduziram significativamente as emissões de poluentes.

Biage e Almeida (2015) avaliaram a hipótese da CKA aplicada a um formato de dados em painel, analisando as diferenças entre as emissões de CO_2 por países, em função do desenvolvimento socioeconômico. Como resultado, evidenciou-se relação entre PIB_{pc} e a emissão de CO_2_{pc} com CKA no formato de “N”. Além disso, os resultados demonstraram que o PIB_{pc} constitui a variável de menor impacto sobre as emissões de CO_2_{pc} , e que o impacto ambiental cresce, essencialmente, pelo desenvolvimento das economias (desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e qualidade de vida).

Almeida e Lobato (2019) propõem a discussão da CKA para a região Norte do Brasil no período de 2002 a 2015. Os autores relacionaram as emissões de CO_2 com o PIB_{pc} , e apesar de não abordarem diretamente o desmatamento, levaram em consideração que a emissão de CO_2 é uma consequência de fatores como o próprio desmatamento, sendo tratada como variável *proxy*. A pesquisa concluiu que a CKA para a região Norte do Brasil apresenta formato de “U”, não corroborando com o formato tradicional da CKA.

Estudos relevantes para a construção do presente referencial, dizem respeito a avaliação do desmatamento, sem a necessidade de se testar a hipótese da CKA, a importância destes se dá na avaliação dos determinantes do desflorestamento em biomas brasileiros, ou da elaboração de indicadores de impacto ambiental, no sentido de identificar causas da degradação ambiental.

Sob outra perspectiva, Delazeri (2016) elencou as causas do desmatamento nos municípios do Arco Verde na Amazônia Legal entre 2008 e 2012. Com o resultado concluiu-se que a produção bovina tem maior incidência nos níveis de desmatamento dos 49 municípios que compõem a região e que a expansão da lavoura de soja não é significativa para explicar o desmatamento.

Em investigação sobre a ocorrência de desacoplamento de impacto ambiental do crescimento econômico brasileiro, Soares e Almeida (2018) agruparam 13 indicadores de pressão ambiental, monitorados a partir da década de 1990 a meados de 2014, nas dimensões⁶: água, atmosfera, biodiversidade, saneamento e terra. A pesquisa corroborou a hipótese de que o crescimento econômico ocasiona impacto ambiental, incluindo na biodiversidade que inclui a Mata Atlântica, porém com menor impacto na dimensão terra.

Castelo, Adami, Almeida e Almeida (2018) avaliaram políticas públicas ambientais do governo federal no combate ao desmatamento na Amazônia, a partir de um levantamento histórico da atividade por um período de 15 anos (2002 a 2016). A análise empírica realizada para o estado do Pará a partir de uma modelagem em painel mostrou que, dado o aumento de 100 cabeças bovinas, a área desmatada sofre um incremento de $0,2 km^2$, já a política ambiental foi bastante significativa para o período analisado.

Resumidamente, o Quadro 1 sintetiza os estudos que avaliam a relação entre crescimento econômico e desmatamento em biomas brasileiros sob a hipótese da CKA. Em geral, estes trabalhos empíricos consideram abordagens econométricas para dados em corte transversal (*cross-section*) ou no

⁵ Almeida e Lobato (2019), Biage e Almeida (2015) corroboram que o incremento da atividade econômica eleva o desmatamento via setor agropecuário com: queimadas na agricultura, extração de recursos florestais, e áreas de pastagem, que reduzem a absorção do CO_2 , elevando as emissões de GEE.

⁶ Água: demanda bioquímica de oxigênio (1990 a 2014), qualidade das águas das praias (1992 a 2012). Atmosfera: emissões de origem antrópica de GEE (1990 a 2014), consumo industrial de substâncias destruidoras da camada de ozônio (1992 a 2013). Biodiversidade (1992 a 2013): áreas terrestres protegidas, áreas de proteção marinha. Saneamento (1992 a 2011): acesso da população a água potável, esgotamento sanitário e ao serviço de coleta de lixo doméstico. Terra: desmatamento da Amazônia Legal (1990 a 2014), uso de fertilizante (1992 a 2013), uso da terra (1990 a 2011).

formato de dados em painel. Além disso, boa parte das pesquisas nacionais está concentrada nas regiões Centro-Oeste, Norte e nos municípios do MATOPIBA. Assim, por meio desta revisão, pode-se dizer que a presente pesquisa contribui com a literatura da CKA a partir da análise da relação entre a atividade econômica no estado do Ceará com o desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais.

Quadro 1. Síntese dos trabalhos que considera a CKA e/ou o Desmatamento.

Autor(es)	Período	Método	Região	CKA	Desmate
Cross-Section					
Barros e Stege (2019)	2010	Econometria espacial	337 municípios do MATOPIBA	√	√
Carvalho e Almeida (2010)	2010		187 países	√	-
Colusso <i>et al.</i> (2012)	2008		1.306 municípios que apresentam área de Cerrado no Brasil	√	√
Teixeira <i>et al.</i> (2012)	2006		Municípios do Mato Grosso	√	√
Dados em Painel					
Almeida e Lobato (2018)	2002 a 2015	Efeitos Fixos	Estados da região norte brasileira	√	-
Biage e Almeida (2015)	1991 a 2006		37 países	√	-
Castelo <i>et al.</i> (2018)	2002 a 2016		Municípios do Pará	-	√
Delazeri (2016)	2008 a 2012		Arco Verde (Amazônia Legal)	-	√
Ferreira e Coelho (2015)	1999 a 2011		Estados da Amazônia Legal	√	√
Oliveira <i>et al.</i> (2011)	2001 a 2006	Econometria Espacial	Municípios da Amazônia Legal	√	√
Soares e Almeida (2018)	----	Construção de Indicadores	Brasil	-	√

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

3. Metodologia

3.1 Fonte de dados

Essa pesquisa analisa o desmatamento anual dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais – *DESM*, em *ha*. Esses dados são do projeto “Aqui tem Mata?”, aplicativo elaborado com dados do “Atlas da Mata Atlântica”, da Fundação SOS Mata Atlântica e INPE (2020b) que apresenta gráficos e mapas interativos com informação atualizada do estado de conservação das florestas, mangues e restingas em todos os 3.429 municípios brasileiros que apresentam resquícios de Mata Atlântica.

No levantamento das alterações na cobertura florestal, destacam-se duas limitações: a presença da cobertura de nuvens, que prejudica o processamento das imagens, podendo haver áreas não observadas; e, a limitação do mapeamento, que necessita de uma área mínima de 3 *ha*, tanto para a detecção das alterações florestais como na identificação dos remanescentes florestais. Para fins de monitoramento, áreas com desmatamento inferior a 3 *ha* são marcadas como indício de desmatamento e serão observadas novamente em novas versões dos relatórios (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE, 2020a).

A Precipitação total anual observada (*PREC*) é da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2020) e a delimitação da Região Semiárida (RSA) no Brasil são do Ministério da Integração (MI, 2018). Quanto as áreas protegidas, foram geradas variáveis binárias relacionadas a presença das Unidades de Conservação (*UC*) terrestres municipal, estadual e federal localizadas em território cearense (Ministério do Meio Ambiente [MMA], 2020).

Além disso, a base municipal conta com variáveis derivadas, construídas a partir do cruzamento de dois indicadores de diferentes fontes. Estas variáveis indicam valores integrais como proporção da população ou da área do município. Citam-se, informações econômicas, fiscais e de consumo de energia elétrica em valores *per capita*, já a bovinocultura e população são expressas em termos de área municipal.

Quadro 2. Descrição das variáveis e as fontes dos dados.

Variável	Descrição	Unidade	Fonte
<i>DESM</i>	Área desmatada dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais	<i>ha</i>	Fundação Mata Atlântica e INPE (2020b)
<i>PIBpc</i>	<i>PIB per capita</i> municipal	R\$ de 2015	IBGE (2017a)
$(PIBpc)^2$	<i>PIB per capita</i> municipal ao quadrado	-	Derivado do <i>PIBpc</i>
$(PIBpc)^3$	<i>PIB per capita</i> municipal ao cubo	-	
<i>VAB^{agro}_{pc}</i>	<i>VAB</i> da agropecuária <i>per capita</i>	R\$ de 2015	IBGE (2017b)
<i>VPEpc</i>	Valor da produção extrativista de carvão vegetal, lenha e madeira em tora <i>per capita</i>		IBGE (2017c)
<i>DPOP</i>	Razão da população absoluta e área ocupada por esse mesmo contingente populacional	hab/ <i>km</i> ²	IBGE (2017d)
<i>BOV</i>	Razão do efetivo do rebanho de bovinos pela área municipal	contagem/ <i>km</i> ²	IBGE (2020)
<i>Emp_{primário}</i>	Empregos formais nos setores da Agricultura, Pecuária e Serviços Relacionados + Produção Florestal	contagem	MTB (2017)
<i>CEpc</i>	Consumo municipal de energia elétrica <i>per capita</i>	<i>MWh pc</i>	Enel (2017)
<i>FPMpc</i>	Fundo de Participação Municipal <i>per capita</i>	R\$ de 2015	SICONFI (2017)
<i>ICMSpc</i>	ICMS <i>per capita</i>		
<i>RTpc</i>	Receita Tributária <i>per capita</i>		
<i>PREC</i>	Precipitação total anual observada	<i>mm</i>	FUNCEME (2020)
<i>RSA</i>	1 se município pertence ao Semiárido, 0 caso contrário (c.c)	variável binária	MI (2018)
<i>UC_{municipal}</i>	1 se o município possui <i>UC</i> municipal, 0 c.c		MMA (2020)
<i>UC_{estadual}</i>	1 se o município possui <i>UC</i> estadual, 0 c.c		
<i>UC_{federal}</i>	1 se o município possui <i>UC</i> federal, 0 c.c		

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

3.2 Modelo Empírico

Na estimativa da CKA aplicada ao desmatamento dos remanescentes florestais e áreas naturais não-florestais no Ceará, considerou-se a especificação do modelo que inclui a variável *PIBpc* na forma quadrática e cúbica, na seguinte forma:

$$DESM_{it} = \beta_0 + \beta_1 PIBpc_{i,t-1} + \beta_2 (PIBpc)_{i,t-1}^2 + \beta_3 (PIBpc)_{i,t-1}^3 + \beta_k X_{i,t-1} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Em que, *DESM_{it}* é o desmatamento anual para cada um dos *i* municípios monitorados pelo programa “Aqui tem Mata?”, sendo *i* = 1, ..., 61. O subscrito *t* para o conjunto de dados corresponde ao ano observado *t* = 2011, ..., 2017, já o *PIBpc_{i,t-1}* denota o nível da atividade econômica do *i*-ésimo

município no ano anterior e $X_{i,t-1}$ corresponde ao conjunto de variáveis explicativas adicionais defasadas em um ano (Quadro 2). Os dados compõem um painel balanceado com 427 observações.

A partir disso, o formato da CKA está relacionado ao sinal e significância apresentados pelos coeficientes $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$. Uma condição suficiente para que a CKA apresente formato linear se dá quando $\beta_1 > 0$ ou $\beta_1 < 0$, enquanto que $\beta_2 = \beta_3 = 0$. No caso de $\beta_1 > 0$, um aumento no $PIBpc$ é linearmente relacionado ao desmatamento. Para o formato de “U-invertido” é suficiente que $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$ e $\beta_3 = 0$, já para o formato de “U”, $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$ e $\beta_3 = 0$. Por fim, nos casos em que $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$ e $\beta_3 > 0$ ou $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$ e $\beta_3 < 0$, a curva assume forma de “N” e “N-invertido” respectivamente.

Note que, a variável dependente, o desmatamento anual dos remanescentes florestais de Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais pode ser considerada como uma variável censurada, pois é razoável supor que o desmatamento não assume valores negativos, assim não observamos a variável de interesse se ela está abaixo do zero. Além disso, a análise destes dados revela que, das 427 observações para o desmatamento, 347 são observações nulas (desmate < 3 ha), ou seja, há um excesso de zeros e não a ausência de informações.

Ao desconsiderar tais fatos (a censura e o excesso de zeros) as estimativas tradicionais de Mínimos Quadrados Ordinários serão inconsistentes, pois os pressupostos do modelo linear clássico são violados. Um modelo que se aplica bem a estes problemas é modelo *tobit*, proposto inicialmente por Tobin (1958), adequado quando a variável dependente é censurada ou truncada, além destes casos se adequa quando a variável dependente assume um número excessivo de zeros⁹ (CALZOLARI, MAGAZZINI & MEALLI, 2001). Assim, o modelo *tobit* pode ser expresso na seguinte forma:

$$Y_{it} = \begin{cases} 0, & \text{se } Y_{it}^* \leq 0 \\ Y_{it}^*, & \text{se } Y_{it}^* > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Em que, $Y_{it}^* = X'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$ é observado apenas se estritamente positivo, X_{it} representa o vetor de variáveis explicativas e o termo $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ *i.i.d* e independente de X_{it} , com $i = 1, \dots, N$ e $t = 1, \dots, T$. A função densidade de probabilidade quando Y é observado é (AMEMIYA, 1985):

$$f(Y_{it}|X_{it}; \theta) = \begin{cases} 0, & \text{se } Y_{it} < 0 \\ \Phi(-X'_{it}\beta/\sigma_\varepsilon), & \text{se } Y_{it} = 0 \\ \phi((Y_{it} - X'_{it}\beta)/\sigma_\varepsilon), & \text{se } Y_{it} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Onde, Φ é a função de distribuição acumulada e ϕ é a função densidade de probabilidade da distribuição normal padrão. Ao considerar o modelo para dados em painel, o termo de erro ε_{it} pode ser decomposto em (CALZOLARI, MAGAZZINI & MEALLI, 2001):

$$\varepsilon_{it} = \alpha_i + \lambda_t + u_{it} \quad (4)$$

Onde α_i são os efeitos individuais (características não observáveis específicas da unidade i que são consideradas constantes ao longo do tempo) interpretados como parâmetros fixos ou como variáveis aleatórias, já λ_t é o efeito do tempo (características não observáveis no período t , constante para todas as unidades de corte transversal na amostra) e u_{it} é um termo aleatório que varia no tempo e com os indivíduos, além disso u_{it} não está correlacionada ao longo do tempo (CALZOLARI, MAGAZZINI & MEALLI, 2001).

Modelos de regressão *tobit* com dados em painel podem assumir duas formas, sendo efeitos fixos ou efeitos aleatórios. Segundo Cameron e Trivedi (2005), em painéis menores ($T < 8$) o estimador de efeitos fixos não se mostram consistentes, assim o modelo de efeitos aleatórios é o mais indicado:

$$Y_{it}^* = \alpha_i + X'_{it}\beta + u_{it} \quad (5)$$

Em que, $\alpha_i \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$ *i.i.d*, $u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$ *i.i.d*, com u_{it} independente de α_i , assume-se que da expressão (4) o termo $\lambda_t = 0 \forall t$. A equação (5) pode ser reescrita como (CALZOLARI, MAGAZZINI & MEALLI, 2001):

$$Y_{it}^* = \sigma_\alpha \alpha_i + X'_{it}\beta + \sigma_u u_{it} \quad (6)$$

Onde $\alpha_i \sim N(0,1)$ *i.i.d* independente de u_{it} , com $u_{it} \sim N(0,1)$ *i.i.d*. Devido ao efeito individual, as observações sobre a variável dependente para cada indivíduo i são correlacionadas. No

⁹ Não confundir com modelos para dados de contagem inflacionados de zeros: *Poisson* Inflacionado de Zeros (*Zero-Inflated Poisson*, *ZIP*) ou Binomial Negativo Inflacionado de Zeros (*Zero-Inflated Negative Binomial*, *ZINB*).

entanto, atrelado ao efeito individual α_i , a função de densidade conjunta condicional pode ser escrita como (GOURIEROUX & MONFORT, 1993):

$$f(Y_i|X_i, \alpha_i; \theta) = \prod_{t:Y_{it}>0} \frac{1}{\sigma_u} \phi\left(\frac{Y_{it} - X'_{it}\beta - \sigma_u\alpha_i}{\sigma_u}\right) * \prod_{t:Y_{it}=0} \Phi\left(\frac{-X'_{it}\beta - \sigma_u\alpha_i}{\sigma_u}\right) \quad (7)$$

Φ e ϕ são a função de distribuição acumulada e a função densidade de probabilidade com distribuição $N(0,1)$. Como os efeitos individuais α_i não são observáveis, a equação (6) não pode ser usada nas inferências. Para obter a máxima verossimilhança incondicional é preciso integrar o efeito individual α_i :

$$f(Y_i|X_i; \theta) = \int f(Y_i|X_i, \alpha_i; \theta) dP^\alpha(\alpha) \quad (8)$$

Uma solução satisfatória para a integral (7) é o procedimento via integração numérica. Alternativamente, pode-se aproximar a integral (7) por meio de simulações replicadas, obtendo-se assim uma função de verossimilhança simulada a ser maximizada afim de obter um estimador simulado de máxima verossimilhança (CALZOLARI, MAGAZZINI & MEALLI, 2001). Por fim, como análises adicionais a regressão *tobit* com efeitos aleatórios serão testadas CKA com especificações da variável *PIBpc* na forma quadrática e cúbica para modelos *tobit* com dados empilhados ou *pooled tobit* (modelos-base).

4. Resultados e discussões

Os resultados são apresentados e discutidos em três subseções que concentram as análises dos resultados descritivos, seguido pelas áreas remanescentes e desmatadas e, pro fim, são apresentados os resultados econométricos a partir das especificações da CKA com termo do *PIBpc* nas formas quadrática e cúbica, estimadas por regressões *pooled tobit* e *tobit* com efeitos aleatórios.

4.1 Análise Descritivas dos Dados

A Tabela 1 apresenta algumas estatísticas descritivas para o conjunto de dados. Em linhas gerais, todas as variáveis apresentaram variação percentual positiva no intervalo de 2011 a 2017, a exceção da bovinocultura, do percentual de empregos no setor primário da economia em relação ao total de empregos formais e a precipitação.

A análise do desmatamento, revela média anual de 6,93 *ha*/município, com máxima extensão desmatada de 375 *ha* no município de Trairi (litoral oeste do estado do Ceará). Destas observações, grande parte (81%) se referem a desmatamento abaixo dos 3 *ha*, logo são 347 observações nulas. Apesar de tal fato, o desmatamento nestas regiões pode estar ocorrendo pelo “efeito formiga”, desmatamentos pequenos o suficiente para que o satélite não capte sua presença.

Das informações econômicas, destaque para o *PIBpc*, com média de R\$ 10 mil, mínimo de R\$ 2,7 mil para a cidade de Tururu e máximo de R\$ 71 mil em São Gonçalo do Amarante (SGA). Para o VAB_{pc}^{agro} , a média foi de R\$ 1,1 mil, com mínimo registro na cidade de Fortaleza e máximo valor em Missão Velha. Já o *VPEpc* tem média de R\$ 6,87, com máximo valor *pc* em Frecheirinha (R\$ 122,48).

No tocante a *DPOP*, a média é de 263 habitantes a cada km^2 , com adensamento máximo na cidade de Fortaleza (capital do estado do Ceará) e mínimo no município de Granja. A bovinocultura tem média de 14,60 cabeças/ km^2 , com registros mínimo e máximo nas cidades serranas de Guaramiranga, com 2,50 cabeças/ km^2 e Maranguape, com 34,41 cabeças/ km^2 , localizada na Região Metropolitana de Fortaleza – RMF.

Quanto aos empregos no setor primário da economia, verifica-se uma baixa participação em relação ao total de empregos formais, com maior proporção (> 45%) no município de Icapuí (litoral leste). Em relação ao *CEpc*, a média é de 0,98 *MWh*, com consumo mínimo na cidade de Granja e máximo em SGA. Por fim, para as informações fiscais, as médias do *FPMpc*, *ICMSpc* e *RTpc* foram respectivamente, R\$ 560,65, R\$ 212,88 e R\$ 111,24. Destaque para o município de SGA, que detém as maiores métricas relacionadas ao *PIBpc*, *CEpc*, *ICMSpc* e *RTpc*, possivelmente pela presença do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) na região.

A matriz de correlação é apresentada no Apêndice A, a partir da qual se observa uma alta correlação entre *PIBpc* e *ICMSpc* e entre *PIBpc* e *RTpc*, respectivamente, 0,806 e 0,842. Em função disso, optou-se por considerar apenas o *PIBpc* no modelo econométrico.

Tabela 1. Estatísticas descritivas, 2011-2017.

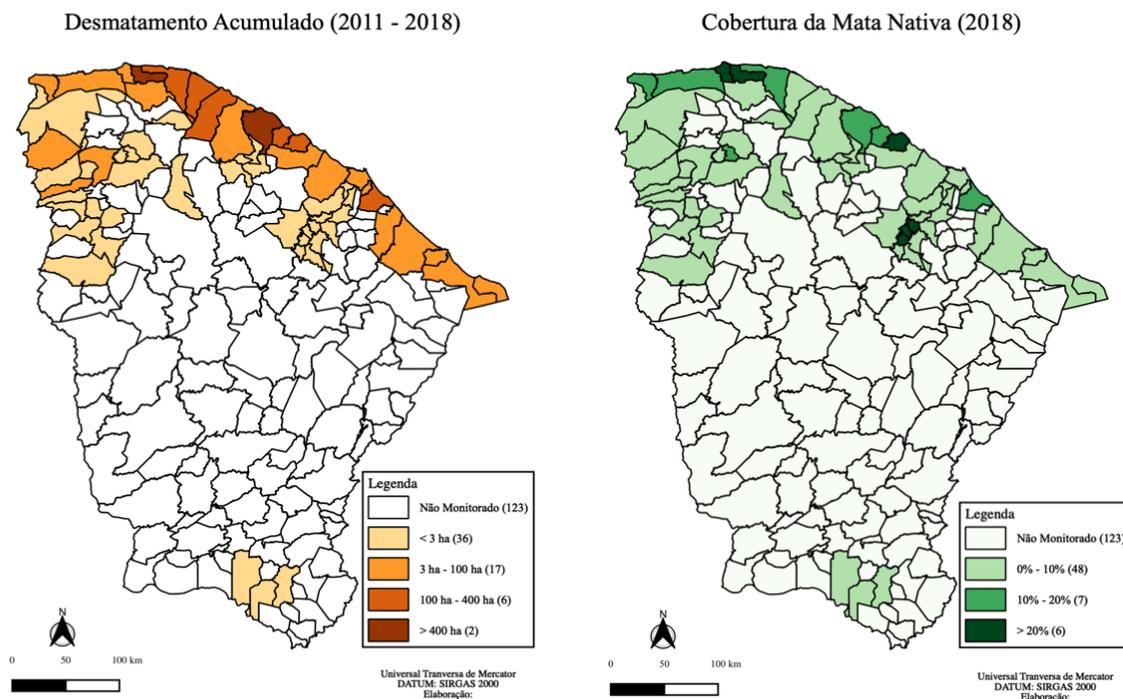
	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo	$\Delta\%$ (2011-2017)
<i>DESM</i>	6,93	31,08	0,00	375,00	58,68%
<i>PIBpc</i>	10056,60	8453,16	2751,99	71026,16	153,27%
<i>VAB_{pc}^{agro}</i>	1148,80	1102,73	11,23	8899,82	58,00%
<i>VPEpc</i>	6,87	11,65	0,00	122,48	16,76%
<i>DPOP</i>	263,00	1052,56	19,61	8343,06	6,82%
<i>BOV</i>	14,60	6,76	2,50	34,41	-22,50%
<i>Emp_{primário}</i>	5,07	9,72	0,00	71,41	-1,60%
<i>CEpc</i>	0,98	0,91	0,32	6,87	16,47%
<i>FPMpc</i>	560,65	296,60	0,00	2681,13	153,20%
<i>ICMSpc</i>	212,88	185,09	0,00	1283,49	228,47%
<i>RTpc</i>	111,24	196,27	0,00	2245,39	308,86%
<i>PRECI</i>	916,18	381,01	19,00	2382,00	-30,95%

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Análise sobre o desmatamento acumulado e mata nativa remanescente

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial do desmatamento acumulado de Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 2011 a 2018, bem como a proporção destes domínios em relação a área municipal para o ano de 2018 (ano mais recente para as duas informações). Para o desmatamento, cores mais fortes evidenciam maior degradação, neste sentido destacam-se os municípios de Cruz e Trairi que respondem a 45% do total desmatado no intervalo de oito anos.

Figura 2. Desmatamento acumulado e cobertura da mata nativa no estado do Ceará.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, o desmatamento está localizado sobretudo no litoral, em especial nos municípios da porção oeste do estado (Acaraú, Amontada, Cruz, Itarema, Paracuru, Paraipaba e Trairi). O recente desmatamento no litoral oeste pode se dar pela configuração destes locais como novos destinos turísticos, com o loteamento das terras para a construção de casas de veraneios e *resorts*, em face ao baixo custo da terra em alguns locais. Por outro lado, identificam-se 36 municípios monitorados com desmatamento inferior a 3 ha. Apesar de tal fato, é preciso levar em consideração o “efeito formiga” imposto pelo avanço das moradias e expansão da infraestrutura urbana.

Para a cobertura da mata nativa, cores mais fortes evidenciam maior proporção das áreas de Mata Atlântica e áreas naturais não florestais em relação a extensão territorial. Assim, seis municípios possuem mais que 20% do território coberto por mata nativa, sendo eles: Cruz, Guaramiranga, Jijoca de Jericoacoara, Mulungu, Pacoti e Paracuru. Porém, nota-se que grande parte dos municípios monitorados encontra-se na faixa de mata nativa abaixo de 10% do território municipal.

4.3 Estimativas para a Curva de Kuznets Ambiental

Em relação a CKA, as versões na forma quadrática e cúbica foram estimadas por modelos de regressão *pooled tobit* e *tobit* com efeitos aleatórios. A Tabela 2 apresenta estes resultados, dentre os modelo-base (*pooled tobit*) e conforme o Critério de Informação de Akaike (*AIC*), o modelo com melhor ajuste (1093,693 contra 1090,122) é aquele que incorpora a relação cúbica entre o desmatamento e *PIBpc*.

Para tal modelo, são significativas as variáveis *DPOP*, *BOV*, *CEpc*, *FPMpc* e as *dummies* para o semiárido e *UC* federais. A densidade populacional mostra relação negativa com a área desmatada anual, denotando que municípios com grandes adensamentos populacionais desmatam menos áreas de mata nativa. Mesmo com o resultado inesperado, é possível notar que na literatura científica, não há um consenso sobre o sinal obtido para esta variável, pois algumas pesquisas encontraram relação positiva (CROPPER & GRIFFITHS, 1994), negativa (TEIXEIRA *et al.*, 2012) ou até mesmo não observaram relação (OLIVEIRA *et al.*, 2011; COLUSSO *et al.*, 2012) entre desmatamento e densidade populacional.

A pecuária bovina apresentou sinal inverso ao esperado (positivo), indicando que a presença desta atividade agropecuária contribui para um menor desmatamento. Colusso *et al.* (2012) corroboram a relação negativa entre o rebanho bovino e desmatamento nos 1.306 municípios que apresentam área de Cerrado no Brasil para o ano de 2008. Por outro lado, estes resultados contradizem os encontrados por Oliveira *et al.* (2011) e em Barros e Stege (2019).

O incremento do consumo de energia elétrica *pc* é negativamente relacionado ao desmatamento anual que se estende entre os 61 municípios cearenses analisados. Embora as pesquisas que avaliem a hipótese da CKA não abordem diretamente a relação entre consumo de energia e desmatamento, o fazem para as emissões de CO_2 , uma *proxy* para o desmatamento. Como consequência, os resultados obtidos indicam que as emissões de CO_2pc aumentam quando o *CEpc* se eleva (BIAGE & ALMEIDA, 2015; CARVALHO & ALMEIDA, 2010) conclusão contrária ao resultado desta pesquisa.

O *FPMpc* anterior está negativamente relacionado ao desmatamento, isto é, municípios que recebem maior repasse deste recurso desmatam menos em relação aos demais, o que está de acordo com o esperado. A transferência deste recurso aos municípios é atrelada ao fator população e ao *PIBpc*, assim cidades mais populosas e com alta renda *pc* recebem maior repasse. Por consequência, são mais desenvolvidas e possuem despesas significativas em diversos serviços ofertados à população, como educação e saúde, serviços sem relação direta ao setor florestal. Além disso, é razoável supor que áreas mais desenvolvidas dispõem de menos zonas verdes para desmatar.

As *dummies* geoambientais significativas foram a região semiárida e as *UC* federais. Os coeficientes apresentaram sinal negativo, levando a crer que os municípios inseridos em regiões de clima semiárido desmatam menos dos remanescentes florestais e não-florestais da Mata Atlântica em relação a aquelas com clima tropical úmido. Já, os municípios que possuem *UC* federais desmatam menos, isto é, a presença destas áreas de proteção ambiental não eliminam por si só a atividade do desmatamento nestas regiões, sobretudo o desmate ilegal.

Em relação a CKA, o fato do $(PIBpc)^3$ ser positivo sugere que o desmatamento da mata nativa remanescente aumenta quando o *PIBpc* aumenta, no Ceará. Isto decorre do formato de “N” da CKA, em que os incrementos adicionais na atividade econômica (*PIBpc*) intensifica o desmatamento de Mata

Atlântica. Os pontos de inflexão estimados são de R\$ 22 mil e R\$ 60 mil, sendo que o máximo local (R\$ 22 mil) contempla 91,8% dos municípios (responsável por 87% da área desmatada), que pertencem a parte ascendente da curva. Quatro municípios estão na região de R\$ 22 mil \leq PIBpc \leq R\$ 60, representando pouco mais de 11% do desmatamento. E, por fim, na região de inclinação ascendente, com PIBpc \geq R\$ 60 mil encontra-se o município de SGA.

Analisando os resultados dos modelos *pooled tobit versus tobit* com efeitos aleatórios, verifica-se que o teste da razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio, LR*) para modelos *tobit* em dados em painel rejeitam $H_0: \sigma_\alpha = 0$, ou seja, deve-se analisar os resultados da regressão *tobit* com efeitos aleatórios. Observe pelo Critério de Informação de Akaike (*AIC*) que os modelos *tobit* com efeitos aleatórios apresentam melhor performance em relação os modelos-base (*pooled tobit*). Quanto ao modelo, o que apresenta a relação cúbica entre o desmatamento e PIBpc tem o melhor ajuste (1022,569 contra 1018,819).

Em termos de efeito, verifica-se que a pressão demográfica exercida pela densidade populacional se relaciona negativamente com o desmatamento, ou seja, incrementos na *DPOP* suavizam a atividade do desmatamento. No entanto, esperava-se um efeito positivo dessa relação, entretanto, é possível que devido a expansão inicial da malha urbana, algumas áreas verdes deem lugar as produções imobiliárias e obras de infraestrutura urbana. Assim, com a baixa disponibilidade das zonas verdes, deve-se preservar os pequenos fragmentos florestais urbanos.

Quanto ao rebanho bovino, o efeito é negativamente relacionado a área desmatada anual nos municípios monitorados. A intuição para a escolha desta variável no modelo é a de que, com a expansão das áreas de pasto, ocorreriam alterações na cobertura florestal. Porém, observando a produção nacional, se vê que o estado do Ceará responde a pouco mais de 1% do mercado brasileiro, em contrapartida os estados de Goiás e de Mato Grosso responde a 10,6% e 14% respectivamente da produção bovina em referência ao ano de 2018 (IBGE, 2020), levantando suspeitas de que a atividade pecuária não é bem difundida no Ceará.

Além deste fato, os dados para a bovinocultura cearense revelam uma redução gradual da atividade no estado. Acrescenta-se ainda, que a pecuária bovina pode estar sendo praticada principalmente no domínio morfoclimático da Caatinga cearense, logo a bovinocultura não estaria diretamente relacionada ao desmatamento anual nos domínios da Mata Atlântica e ecossistemas associados.

Tabela 2. Resultados sobre os desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais no Ceará, 2011-2017.

Modelo	Pooled Tobit		Efeitos Aleatórios Tobit	
	(PIBpc) ²	(PIBpc) ³	(PIBpc) ²	(PIBpc) ³
Constante	119,027* (52,379)	77,937 (55,170)	52,377 (66,803)	6,986 (69,655)
PIBpc	0,017* (0,003)	0,025* (0,005)	0,012* (0,003)	0,021* (0,005)
(PIBpc) ²	-3,00e-07* (6,21e-08)	-7,78e-07* (2,44e-07)	-2,03e-07* (5,64e-08)	-6,27e-07* (2,16e-07)
(PIBpc) ³		6,32e-12* (2,89e-12)		5,10e-12* (2,34e-12)
VAB _{pc} ^{agro}	-0,014 (0,010)	-0,015 (0,010)	-0,018 (0,013)	-0,018 (0,012)
VPEpc	-0,394 (0,075)	-0,153 (0,749)	0,312 (0,717)	0,594 (0,718)
DPOP	-0,032* (0,008)	-0,031* (0,008)	-0,028* (0,013)	-0,028* (0,013)
BOV	-9,303* (1,727)	-9,093* (1,708)	-7,382* (2,136)	-7,126* (2,121)
Emp _{primário}	0,806	0,713	0,881	0,797

	(0,998)	(1,003)	(1,378)	(1,367)
<i>CEpc</i>	-30,776*	-27,688*	-16,143	-15,455
	(10,706)	(10,686)	(12,591)	(12,263)
<i>FPMpc</i>	-0,111*	-0,115*	-0,046	-0,063
	(0,034)	(0,034)	(0,037)	(0,038)
<i>PRECI</i>	0,019	0,021	0,018	0,021
	(0,017)	(0,017)	(0,013)	(0,013)
<i>RSA</i>	-95,389*	-95,859*	-82,405*	-77,345
	(25,218)	(24,965)	(41,542)	(40,972)
<i>UC_{municipal}</i>	-37,481	-40,106	8,605	4,369
	(41,967)	(41,590)	(70,393)	(69,521)
<i>UC_{estadual}</i>	14,326	12,964	20,110	19,179
	(13,391)	(13,348)	(24,782)	(23,840)
<i>UC_{federal}</i>	-37,698*	-36,512*	-33,395	-33,896
	(12,977)	(12,898)	(22,782)	(22,575)
<i>/sigma</i>	76,303	75,718		
	(6,49)	(6,43)		
<i>/sigma_α</i>			62,537*	61,792*
			(11,096)	(10,918)
<i>/sigma_u</i>			48,907*	48,326*
			(4,235)	(4,181)
<i>LR</i>			73,120*	73,300*
<i>AIC</i>	1093,693	1090,122	1022,569	1018,819
<i>Pseudo R²</i>	0,070	0,087		
Nº Obs.	366	366	366	366
Ponto de inflexão	28333,333	Máx: 21923,520 Mín: 60143,980	29556,650	Máx: 23458,169 Mín: 58497,320
Forma Funcional	“U-invertido”	“N”	“U-invertido”	“N”

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Notas: Erros-padrão robusto a heterocedasticidade entre parênteses. * denota a significância ao nível de 5%.

Como o $(PIBpc)^3$ é positivo, a CKA apresenta uma forma de “N”, o que implica que a redução do desmatamento, quando a atividade econômica está crescendo, é transitório (até a parte de “U-invertido”), pois a medida que ocorrem aumentos adicionais no *PIBpc*, o desmatamento aumenta, como ilustrado na Figura 3. Os pontos de inflexão encontrados foram de R\$ 23 mil e R\$ 58 mil.

O ponto de máximo local do modelo *pooled tobit* (R\$ 23 mil), responde por 91,8% dos municípios cearenses da amostra, os quais são responsáveis por 87% da área desmatada. Ao comparar o *PIBpc* médio dos municípios ao máximo local (R\$ 10 mil contra R\$ 23 mil) se observa que no curto prazo estas regiões ainda estarão na parte ascendente da curva e, por isso, ainda é possível que estes municípios adotem estratégias unilaterais (ou até de forma coordenada) para achatar a curva do desmatamento e, com isso, preservar as áreas remanescentes florestais da Mata Atlântica no Ceará, assim como as áreas naturais não-florestais.

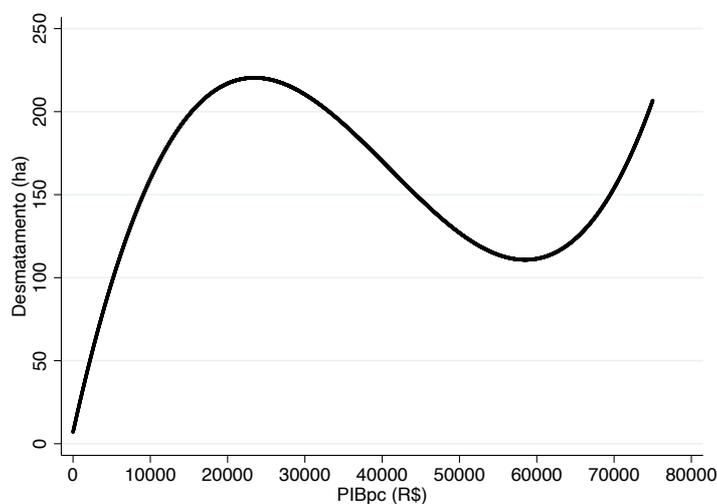
Na parte descendente da curva, que vai $R\$ 23 \text{ mil} \leq PIBpc \leq R\$ 58 \text{ mil}$, figuram quatro municípios – Fortaleza, Aquiraz, Eusébio e Maracanaú (os três últimos na RMF), que respondem a pouco mais de 11% do desmatamento. Após o ponto de mínimo local ($PIBpc \geq R\$ 58 \text{ mil}$), na parte ascendente da curva, situa-se o município de São Gonçalo do Amarante, importante região econômica cearense por contemplar o CIPP e, ainda, por ter instalações portuárias, siderúrgicas, termelétrica, parques eólicos e a Zona de Processamento de Exportação (ZPE).

A partir da forma de “N” da CKA pode-se inferir que o contínuo aumento da atividade econômica municipal, aferido pelo *PIBpc*, afeta de forma positiva o desmatamento. E, como este voltou a crescer, não se pode afirmar que os níveis de desmatamento atingiram um máximo absoluto na região de estudo. O resultado é similar ao de Colusso *et al.* (2012) que observaram uma CKA em formato de “N” para a

relação entre crescimento econômico e degradação ambiental no bioma Cerrado. Entretanto, as diferentes relações entre desmatamento e renda *pc*, estabelecidas pelo formato de “U-invertido” (FERREIRA & COELHO, 2015; BARROS & STEGE, 2019) e “N-invertido” (OLIVEIRA *et al.*, 2011; RODRIGUES, CUNHA, BRITO & PIRES, 2016) levam a conclusão de que a hipótese de “U-invertido” para o desmatamento não consegue se consolidar na literatura como um fato estilizado.

Por fim, quanto a hipótese da CKA, pode-se dizer que ela é verificada no formato de “U-invertido” apenas nos modelos com especificação quadrática do *PIBpc*. Ao incorporar o termo cúbico do *PIBpc* a CKA se configura na forma de “N”, rompendo o paradigma de que a atividade econômica gera por si só uma proteção automática ao meio ambiente, vis a vis ao desenvolvimento sustentável. Pelo contrário, as evidências encontradas por esta pesquisa apontam para a existência de um movimento cíclico na CKA nas áreas remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais no Ceará.

Figura 03. Curva de Kuznets Ambiental para o desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais no Ceará, 2011-2017.



Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

5. Conclusões

Nesta pesquisa investigou-se a hipótese de “U-invertido” para a CKA entre o *PIBpc* e desmatamento anual dos remanescentes florestais e não-florestais da Mata Atlântica em uma amostra de 61 municípios cearenses monitorados pelo programa “Aqui tem Mata?” no período de 2011 a 2017.

As causas do desmatamento são condicionadas a diversas atividades, em especial as antrópicas. Para contemplar estas relações, utilizam-se as características associadas a agropecuária, consumo, demografia, informações econômicas e fiscais, mercado de trabalho e aspectos geoambientais. Compreender estas relações pode auxiliar no entendimento do processo de desenvolvimento sustentável da região, desacelerando o desmatamento em domínios da Mata Atlântica no Ceará.

A relação entre desmatamento e atividade econômica é verificada na forma de “N”. Na fase ascendente da CKA ($PIBpc \leq R\$ 23$ mil), o desmatamento é crescente para baixos níveis de *PIBpc*. Por outro lado, na região de R\$ 23 mil a R\$ 58 mil de *PIBpc*, o desmatamento diminui à medida que o *PIBpc* se eleva, tornando-se novamente crescente para valores de *PIBpc* superior a R\$ 58 mil. Outro aspecto relevante, é que 91,8% dos municípios encontra-se na primeira fase ascendente da curva, já o *PIBpc* médio do Estado é de R\$ 10 mil, o que sugere que no curto prazo, grande parte destes municípios não atingirão a faixa intermediária da CKA ($R\$ 23 \text{ mil} \leq PIBpc \leq R\$ 58 \text{ mil}$), onde o desmatamento diminui com o aumento da atividade econômica. As análises da CKA, indicam que o nível de *PIBpc* é um fator crucial para o desmatamento.

Em relação a pressão demográfica exercida pela densidade populacional e pela bovinocultura, verifica-se que elas reduzem o desflorestamento. Todavia, vale ressaltar que a pecuária bovina não é tão

expressiva no Ceará, e que a expansão das áreas de pasto pode se dar nos domínios da Caatinga, não tendo relação direta com a Mata Atlântica e suas formas naturais não-florestais. Para a densidade populacional, o efeito pode ser associado a preservação dos fragmentos florestais em áreas urbanas e limítrofes, em virtude da baixa disponibilidade de zonas verdes na região.

Em face a estes resultados, o formato em “N” da CKA revela um comportamento municipal, em que o desenvolvimento econômico não estaria alinhado ao desenvolvimento sustentável dos recursos florestais, pois apenas quatro cidades estariam na parte intermediária da CKA, ao passo que, outras 56 cidades ainda estariam na primeira fase da curva, com intensa relação entre atividade econômica e área desmatada. Portanto, conclui-se que o aumento do *PIBpc* por si só não é um fator que promova uma melhoria na qualidade ambiental.

A criação de novas tecnologias, assim como os esforços unilaterais dos municípios possibilitam a preservação os remanescentes florestais e áreas naturais não-florestais da Mata Atlântica, reduzindo assim o desmatamento na região, em especial o desmate ilegal. Vale ressaltar que o monitoramento destas áreas pode auxiliar no desenho de políticas públicas destinadas ao uso sustentável dos recursos naturais e redução dos níveis de desmatamento, pois as florestas e ecossistemas associados ofertam diversos serviços ambientais e, além disso, a proteção destes *habitats* selvagens podem prevenir a transmissão de zoonoses, por conta da interação mais direta entre seres humanos e animais promovida pela supressão ambiental.

6. Referências

ALMEIDA, M. G.; LOBATO, T. C. A curva de Kuznets ambiental para a região norte do Brasil entre os anos de 2002 a 2015. **Economia & Região**, v. 7, n. 1, p. 7-25, 2019.

AMEMIYA, T. **Advanced econometrics**. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1985.

BARROS, P. H. B.; STEGE, A. L. Deforestation and human development in the Brazilian agricultural frontier: an environmental Kuznets curve for MATOPIBA. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 13, n. 2, p. 161-182, 2019.

BIAGE, M.; ALMEIDA, H. J. F. Desenvolvimento e impacto ambiental: uma análise da curva ambiental de Kuznets. **Pesquisa e planejamento econômico**, v. 45, n. 3, p. 505-556, 2015.

CALZOLARI, G.; MAGAZZINI, L.; MEALLI, F. Simulation-based estimation of Tobit model with random effects. **Econometric Studies: a Festschrift in Honour of Joachim Frohn**, p. 349-369, 2001.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics: methods and applications**. New York: Cambridge University Press, 2005.

CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. S. A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial. **Estudos Econômicos**, v. 40, n. 3, p. 587-615, 2010.

CASTELO, T. B.; ADAMI, M.; ALMEIDA, C.; ALMEIDA, O. T. Governos e mudanças nas políticas de combate ao desmatamento na Amazônia. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 28, n. 1, p. 125-148, 2018.

COLUSSO, M. V. S.; PARRÉ, J. L.; ALMEIDA, E. S. Degradação ambiental e crescimento econômico: a curva de Kuznets ambiental para o cerrado. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 10, p. 335-357, 2012.

CROPPER, M.; GRIFFITHS, C. The Interaction of Population Growth and Environmental Quality. **The American Economic Review**, v. 84, n. 2, p. 250-254, 1995.

DELAZERI, L. M. M. Determinantes do desmatamento nos municípios do arco verde - Amazônia Legal: uma abordagem econométrica. **Economia Ensaio**, v. 30, n. 2, p. 11-34, 2016.

EMBRAPA. **Sobre o MATOPIBA**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>>. Acesso em: 30 junho de 2020.

ENEL. **Companhia Energética do Estado do Ceará – COELCE**. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-ceara.html>. Acesso em: 09 de agosto de 2020.

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. 93-108, 2015.

FUNCEME. **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/municipios/chuvas-diaras>. Acesso em: 09 de agosto de 2020.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2018 – 2019. São Paulo. 61 p., 2020.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Aqui tem Mata?** Disponível em: <https://aquitemmata.org.br/#/>. Acesso em: 09 de agosto de 2020.

GOURIEROUX, C., & MONFORT. Simulation-based inference: A survey with special reference to panel data models. **Journal of Econometrics**, v. 59, n. 1-2, p. 5-33, 1993.

GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. (1995). Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2017a). **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?t=downloads>. Acesso em: 09 ago. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2017b). **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acesso em 09 ago. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2017c). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=o-que-e>. Acesso em 09 ago. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2017d). **Estimativas da População**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-popul?=&t=downloads>. Acesso em: 09 ago. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2020). **Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=downloads>. Acesso em: 09 ago. 2020.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO. (2018). **Nova delimitação Semiárido**. Disponível em: http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/Relação_de_Municípios_Semiárido.pdf . Acesso em: 09 ago. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2020). **Painel Unidades de Conservação**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJjoiMDNmZTA5Y2ItNmFkMy00Njk2LWI4YjYtZDJINzFkOGM5NWQ4IiwidCI6IjJmY2ZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwLTZmNDY3NTJmMDNINCIIsImMiOiJF9>. Acesso em: 09 ago. 2020.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. (2017). **A Relação Anual de Informações Sociais – RAIS**. Disponível em: <http://www.rais.gov.br/sitio/index.jsf>. Acesso em: 09 ago. 2020.

OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, E.; FREGUCLIA, R. S.; BARRETO, R. C. S. 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. 709-739, 2011.

RODRIGUES, L. A.; CUNHA, D. A.; BRITO, L. M.; PIRES, M. V. Pobreza, crescimento econômico e degradação ambiental no meio urbano brasileiro. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 26, n. 1, p. 11-24, 2016.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES CONTÁBEIS E FISCAIS DO SETOR PÚBLICO BRASILEIRO. **Contas Anuais**. Disponível em: <http://www.tesouro.fazenda.gov.br/contas-aneais>. Acesso em: 09 de agosto de 2020.

SOARES, L. R., & ALMEIDA, L. T. Desacoplamento de impactos ambientais no Brasil. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 28, n. 2, p. 21-43, 2018.

TEIXEIRA, R. F. A. P, BERTELLA, M. A., & ALMEIDA, L. T. Curva de Kuznets ambiental para o estado do mato grosso. **Análise Econômica**, v. 30, n. 57, p. 313-337, 2012.

TOBIN, J. Estimation of relationships for limited dependent variables. **Econometrica**, v. 26, n. 1, p. 24-36, 1958.

Apêndice A. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas.

	<i>PIBpc</i>	<i>VAB^{agro}_{pc}</i>	<i>VPEpc</i>	<i>DPOP</i>	<i>BOV</i>	<i>Emp_{primário}</i>	<i>CEpc</i>	<i>FPMpc</i>	<i>ICMSpc</i>	<i>RTpc</i>	<i>PRECI</i>
<i>PIBpc</i>	1,000										
<i>VAB^{agro}_{pc}</i>	0,050	1,000									
<i>VPEpc</i>	-0,136*	-0,133*	1,000								
<i>DPOP</i>	0,268*	-0,176*	0,111*	1,000							
<i>BOV</i>	-0,007	-0,099*	-0,037	-0,056	1,000						
<i>Emp_{primário}</i>	-0,005	0,445*	-0,118*	-0,084	0,033	1,000					
<i>CEpc</i>	0,715*	0,023	-0,097*	0,220*	-0,020	0,10*	1,000				
<i>FPMpc</i>	0,073	0,255*	0,013	-0,165*	-0,239*	-0,043	-0,043	1,000			
<i>ICMSpc</i>	0,806*	-0,014	-0,077	0,174*	-0,038	0,571	0,571*	0,427*	1,000		
<i>RTpc</i>	0,842*	-0,030	-0,122*	0,270*	-0,084	0,509	0,509*	0,120*	0,729*	1,000	
<i>PRECI</i>	0,150*	0,031	-0,218*	0,197*	0,041	0,090	0,090	-0,146*	0,077	0,159*	1,000

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Nota: * denota a significância ao nível de 5%.