

ANÁLISE DA TRANSIÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA LEGAL

Lucas Morales¹, Cassiano Bragagnolo²

Resumo: A Teoria da Transição Florestal (TTF) busca analisar o fenômeno de longo prazo no qual o declínio da área de florestas é substituído pela regeneração florestal, tendo-se assim uma curva de TTF com formato semelhante a um “U”. Essas mudanças na cobertura florestal estão relacionadas a alocação ótima do uso da terra pelos agentes, que pode ser afetada por políticas, falhas de mercado e fatores externos. Desta forma, utilizou-se do modelo de dados em painel para identificar os principais fatores determinantes nas mudanças da proporção de área florestal para os municípios da Amazônia Legal no período de 2005 a 2020. Para isso, verificou-se diferentes indicadores demográficos, econômicos e de políticas ambientais. Os resultados obtidos pela pesquisa indicam que os indicadores de PIB per capita provocam, a longo prazo, uma contribuição com o aumento da proporção florestal, enquanto a densidade demográfica, a proporção de PIB agrícola e o valor médio de multas são negativamente relacionados com as áreas florestais. Verificou-se, portanto, a possibilidade de uma curva em formato de “U” como indicado pela TTF.

Palavras-chave: Amazônia; Amazônia Legal; Teoria da Transição Florestal; desmatamento.

ANALYSIS OF THE FOREST TRANSITION IN THE LEGAL AMAZON

Abstract: The forest transition theory seeks to analyze the long-term phenomenon in which the decline in forest area is replaced by forest regeneration, resulting in a curve with a U-shaped pattern. These changes in forest cover are related to the optimal allocation of land use by agents, which can be affected by policies, market failures, and external factors. Thus, panel data model was used to identify the main determining factors in the changes in the proportion of forest area for the municipalities in the Legal Amazon from 2005 to 2020. Different demographic, economic, and environmental policy indicators were examined. The research results indicate that per capita GDP indicators contribute in the long term to an increase in forest proportion, while population density, agricultural GDP proportion, and average fine value are negatively related to forest areas. Therefore, the possibility of a U-shaped curve as indicated by the forest transition theory was observed.

Keywords: Amazon; Legal Amazon; Forestal Transition Theory; deforestation.

1 Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

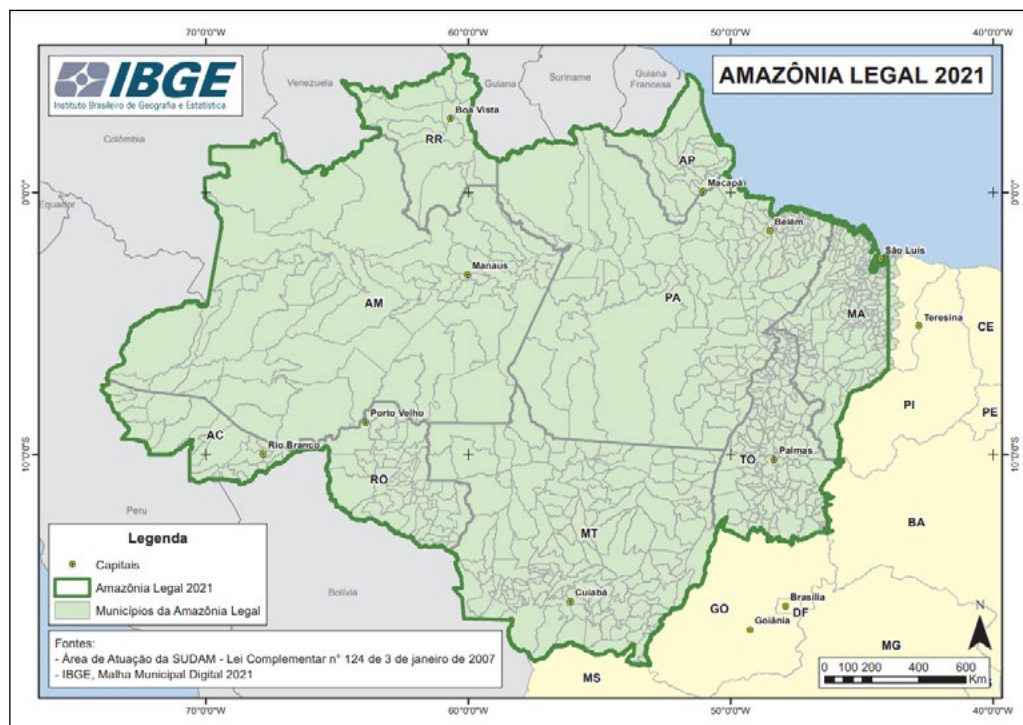
2 Doutor em Economia Aplicada pela Universidade de São Paulo – USP. Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior área remanescente de floresta tropical do mundo, abrangendo diversos países da América Latina, tais como Brasil, Peru, Bolívia, Equador, Colômbia e Venezuela, com uma extensão territorial superior a 6,7 milhões de km² (IBGE, 2021). Sendo assim, o bioma é considerado de essencial importância para o equilíbrio ambiental global.

A Amazônia Legal é uma área reconhecida pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM, criada com o Art. 1º da Lei Complementar n. 124 de 03 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007) com o intuito de promover o desenvolvimento econômico e ambiental da Amazônia e integrá-lo a base produtiva econômica nacional. A área inclui os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, e Mato Grosso, além de partes do Maranhão. O Território inclui cerca de 59% da área terrestre total do Brasil, englobando além de trechos do bioma Amazônico, áreas de transição com outros biomas (BRASIL, 2023).

Figura 1. Amazônia Legal - 2021



Fonte: IBGE (2021).

A redução da cobertura vegetal é um processo ligado à expansão urbana. A criação de assentamentos é uma atividade que demanda recursos provenientes das florestas, como madeira, e a conversão do espaço geográfico ocupado originalmente pela cobertura vegetal.

Desta forma, países em desenvolvimento apresentariam elevadas taxas de desmatamento devido à expansão de áreas agrícolas e assentamentos sobre suas florestas (MATHER, 1992).

Para reduzir as taxas de desmatamento na Amazônia, foram criadas diversas políticas e leis de combate ao desmatamento, como o Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento da Amazônia legal (PPCDAm), criado em 2004 (BRASIL, 2022), e o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), criado em 1988 (INPE, 2022). Ademais, acordos de responsabilidade econômico-ambiental foram criados de forma a combater o desmatamento, sendo um dos principais a Moratória da Soja. O acordo criado em 2006, entre produtores, ONGs e o próprio governo, tinha como mastro a proibição da compra de Soja proveniente de áreas recém desmatadas (GIBBS *et al.*, 2015).

A partir de 2010, pode-se perceber uma tendência de redução do desmatamento entre os países em desenvolvimento com áreas de florestas tropicais (CALABONI, 2017). Tal situação pode ser observada na Amazônia em alguns estados brasileiros (INPE, 2022). Todavia, esta redução no desmatamento, mesmo quando acompanhada pelo reflorestamento ou rejuvenescimento de matas nativas, resulta ainda em uma redução da cobertura vegetal e/ou da biodiversidade do local (ROSA *et al.*, 2021).

A Teoria da Transição Florestal (TTF) descreve a relação entre a cobertura vegetal, seja ela composta por florestas primárias, secundárias ou outros tipos de vegetação, e o desenvolvimento econômico, este geralmente medido pela renda *per capita* de uma região. Após determinado período de degradação florestal haveria um momento de transição no qual as taxas de desmatamento seriam superadas pelos ganhos de área florestal, resultando em ganhos líquidos de cobertura vegetal (SARAIVA, 2017).

Este processo é descrito através de quatro fases principais que estão intrinsecamente ligadas ao estágio de desenvolvimento econômico da região. Inicialmente, na fase I, tem-se florestas intactas com baixas taxas de desmatamento, pois ainda não há atividade econômica desenvolvida naquela região. Na fase II tem-se a expansão das atividades agrícolas e com elas elevadas taxas de desmatamento para suprir a necessidade por recursos naturais e espaço. Na fase III, com a redução das áreas florestais e a consolidação da agricultura, ocorre uma estabilização do desmatamento. Por fim, na fase IV, espera-se que mudanças no contexto político, no modelo produtivo e sociais fomentem a regeneração das florestas e a diminuição do desmatamento, podendo resultar em ganhos líquidos de vegetação (ANGELSEN, 2007).

O uso da terra e de recursos florestais dependem de uma variedade de fatores. Estes incluem a demanda pelos recursos em si, a urbanização, modernização agrícola, os custos relacionados a sua extração e as políticas governamentais vigentes (BARBIER *et al.*, 2010). A distância aos principais centros urbanos também é fator determinante na alocação de terras para diferentes finalidades (SULLIVAN, 2012). Neste contexto, é crucial levar em conta como a escassez de recursos florestais afeta o valor da terra e, por consequência, as atividades realizadas nela. Isso pode limitar ou permitir a alocação de áreas para a preservação e reflorestamento, bem como influenciar a incidência de desmatamento, especialmente em áreas próximas a centros urbanos ou em zonas de expansão agrícola onde os valores da terra são elevados (HYDE, 2017).

Cabe destacar que apesar da relevância do tema, poucos estudos se dedicaram a avaliar empiricamente a existência de uma relação entre a TTF e a dinâmica de desmatamento na Amazônia Legal brasileira. Além disto, até onde se sabe, os poucos estudos dedicados ao assunto existentes na literatura utilizaram dados menos atualizados do que os empregados na análise aqui proposta.

Autores como Saraiva (2017) e Saraiva *et al.* (2020) exploram a influência de políticas públicas e do desenvolvimento econômico nas florestas secundárias e no desmatamento no bioma Amazônico, utilizando modelos estimados através do método de dados em painéis. Ambos os trabalhos utilizam como fonte a plataforma TerraClass (INPE, 2023a) para o desmatamento e a área de vegetação secundária, analisando até o ano de 2014.

Desta forma, o presente trabalho buscará analisar a evolução da cobertura vegetal na Amazônia Legal no período 2005 a 2020. Para isso, buscar-se-á traçar uma curva baseada na Teoria da Transição Florestal para a região por meio de métodos econométricos de dados em painel, utilizando dados mais recentes do que os empregados em estudos prévios disponíveis na literatura. Com isto, pretende-se identificar os principais indicadores socioeconômicos e políticos que impactaram na cobertura vegetal da região. Espera-se, portanto, encontrar uma curva semelhante à proposta pela TTF, com formato de “U”. Assim sendo, se pretende estimar modelos com variáveis significantes para a relação da cobertura florestal com a renda *per capita*, bem como a presença de outras variáveis explicativas para o fenômeno, conforme será detalhado na seção de metodologia.

Assim, o trabalho foi dividido em sete seções. A primeira é a introdução, que é seguida de uma breve revisão da literatura sobre o tema. Na terceira seção é apresentado o referencial teórico sobre o tema. A quarta seção apresenta a metodologia utilizada, explicitando a fonte dos dados e os fundamentos dos modelos econométricos empregados. A quinta seção apresenta os resultados obtidos que em seguida, na sexta seção, serão discutidos. Por fim, a seção sete apresentará as considerações finais acerca dos resultados da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Breve Caracterização da Amazônia Legal

Com mais de 27 milhões de habitantes em 2022 (IBGE, 2023), a Amazônia Legal é uma região político administrativa instituída pelo governo brasileiro com o intuito de reunir regiões com problemas econômicos, políticos e sociais semelhantes para fomentar seu desenvolvimento econômico e social, integrando seus municípios na base econômica nacional.

Correspondendo a cerca de 10% do PIB nacional, os dados do Produto Interno Bruto (PIB) para os estados da Amazônia Legal demonstram a importância econômica da região. Nacionalmente, a participação de cada setor na composição do valor adicionado bruto se comportou da seguinte maneira em 2020: Agropecuária 6,59%; Indústria 22,51%; Serviços 53,51% e setor público 17,49%. Na Região da Amazônia Legal no mesmo ano, conforme demonstrado na Tabela 1, é possível perceber uma maior participação da agropecuária e da indústria quando comparado com as parcelas nacionais: 14,74% na agropecuária; 27,15%

na indústria; 36,08% em serviços e 22,04% no setor público. Comparando a participação de cada setor nos estados com a média nacional, percebe-se uma maior participação da agropecuária para todos os estados da Amazônia Legal, com exceção do Acre, Amapá e Amazonas. A indústria teve uma participação menor que a média nacional em quase todas as Unidades Federativas, com exceção do Amazonas. O setor público demonstrou relevância para a região, com participação maior que a média nacional para todos os estados exceto Mato Grosso. Por fim, o setor de serviços apresentou menor relevância relativa que para a média nacional em toda região (IBGE, 2023).

Tabela 1 – Participação de cada setor no valor adicionado bruto (em %)

Sector	AC	AP	AM	MA*	MT	PA	RO	RR	TO	BR
Agropecuária	6,6%	2,0%	5,3%	12,6%	28,8%	10,0%	14,9%	6,9%	20,3%	6,6%
Indústria	8,1%	12,4%	37,3%	19,6%	17,3%	42,5%	17,9%	11,7%	11,2%	22,5%
Serviços	44,5%	37,7%	36,3%	41,8%	39,0%	28,5%	41,2%	36,3%	39,6%	53,5%
Público	40,8%	48,0%	21,1%	26,0%	14,8%	19,0%	26,0%	45,0%	28,9%	17,5%

Nota: * Maranhão, apenas os 181 municípios que fazem parte da Amazônia Legal.

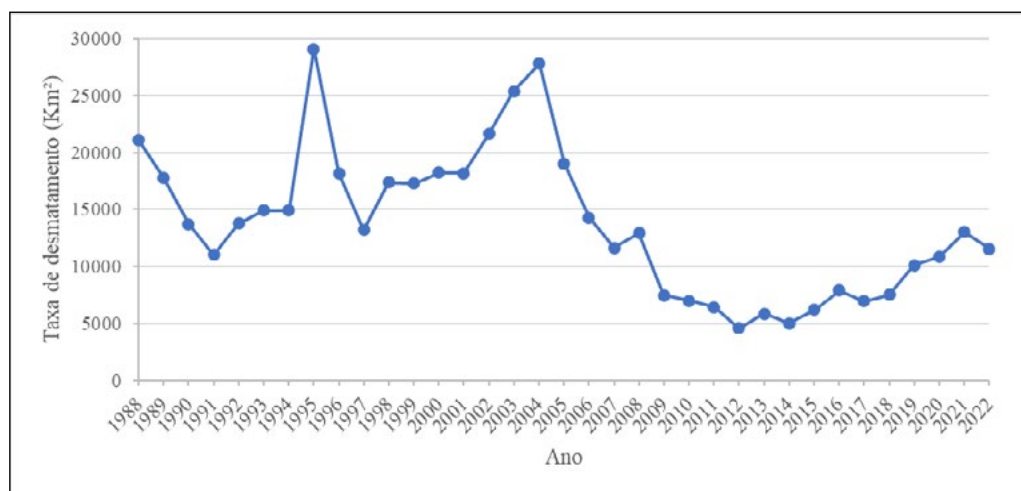
Fonte: IBGE (2020).

A região é marcada por uma alta heterogeneidade na densidade demográfica. As regiões com maiores populações estão localizadas majoritariamente em capitais de estados e áreas próximas. Já as regiões de menor densidade demográfica são caracterizadas por povoados rurais dispersos. As regiões remotas e de difícil acesso são marcadas por unidades de conservação ambiental e terras indígenas. A depender do momento da expansão agrícola, os povoados podem exercer alta ou baixa pressão sobre as florestas da região (SARAIVA, 2020).

2.2 O desmatamento na Amazônia

A região amazônica apresenta altos níveis de desmatamento desde o século XIX. Políticas de colonização, expansão da fronteira agrícola e incentivos fiscais são alguns dos fatores determinantes para a evolução dos níveis do desmatamento na região. Ao longo dos últimos anos pode-se observar uma redução na taxa de desmatamento na Amazônia legal (Figura 2), todavia esta não é acompanhada pelo aumento da cobertura florestal (SARAIVA, 2017).

Figura 2. Taxa de desmatamento na Amazônia Legal.



Fonte: Elaboração própria com dados do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia - PRODES (INPE, 2022).

Saraiva (2017) e Perz e Skole (2013) analisaram a dinâmica do desflorestamento da Amazônia Legal demonstrando que a redução das florestas primárias ocorre em concomitância com o reflorestamento, através da expansão de florestas secundárias. Aguiar *et al.* (2007) e Ometto *et al.* (2011) demonstraram que os principais condutores do desmatamento estão ligados à uma ampla variedade de fatores socioeconômicos, institucionais, tecnológicos e demográficos. A expansão de rebanhos, do plantio de soja e da fronteira agrícola, o surgimento de estradas e a quantia de áreas de proteção ambiental são alguns dos determinantes para os níveis de desflorestamento da região (PERZ; SKOLE, 2013).

Existem projetos e programas vinculados ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – que monitoram o desmatamento e a cobertura florestal no bioma Amazônico e na Amazônia Legal, tais como: Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia – PRODES (INPE, 2022); Sistema de Detecção de Desmatamentos em Tempo Real – DETER (INPE, 2023b) e o TerraClass (INPE, 2023a).

O PRODES utiliza imagens de satélite de sensoriamento remoto para monitorar o desmatamento de florestas primárias na Amazônia Legal e tem como principal objetivo estimar a taxa anual de desmatamento da região. A consulta para os dados e resultados obtidos pelo projeto estão disponíveis na plataforma TerraBrasilis (INPE, 2022c).

O DETER (INPE, 2023b) é um sistema de apoio a fiscalização que mapeia a supressão e degradação ambiental na Amazônia Legal. O sistema produz diariamente avisos de alteração na vegetação para áreas via imagens por satélite e indicam áreas totalmente desmatadas ou em processo de degradação florestal. Seu principal objetivo é provisionar aos órgãos de fiscalização ambiental recursos para serem utilizados em suas ações. Assim como

no PRODEs, (INPE, 2022) os dados e resultados obtidos estão disponíveis na plataforma TerraBrasilis (INPE, 2023c).

O projeto TerraClass utiliza as imagens mapeadas e publicadas pelo PRODES para produzir mapas sistêmicos com o intuito de qualificar o desflorestamento da Amazônia Legal, investigando os motivos e causas para o desmatamento. O projeto considera e distingue diferentes classes de uso do solo, incluindo a diferenciação de florestas primárias e secundárias (INPE; 2022, 2023a). O projeto mapeou informações referentes ao período de 2004 a 2014 e no momento encontra-se paralisado para a Amazônia Legal.

2.3 Curva Ambiental de Kuznets

O trabalho empírico realizado por Grossman e Krueger (1991) buscou encontrar evidências para entender a relação entre o crescimento econômico e o nível de degradação ambiental de um país, dando início ao estudo da relação que ficou conhecido na literatura como Curva Ambiental de Kuznets (CAK).

A CAK recebeu este nome devido à sua similaridade empírica existente entre a Curva de Kuznets (KUZNETS, 1955) que busca entender a relação entre a renda *per capita* e a desigualdade de renda em uma nação. A hipótese da Curva de Kuznets original era de que, inicialmente a desigualdade de renda em uma nação aumentaria conforme se aumentava a renda *per capita*. Após um certo ponto, a relação iria se inverter, com a desigualdade diminuindo conforme o aumento da renda *per capita*, gerando assim uma curva em formato de “U” invertido.

De forma análoga, a CAK explora a relação entre degradação ambiental e a renda *per capita* de uma nação. Em um primeiro estágio, a CAK é crescente, já que os estágios iniciais da industrialização estão relacionados com aumentos nos níveis de poluição, uma vez que a população e os governos estão mais interessados na geração de postos de trabalho e de renda do que em questões ambientais. Além disso, a regulamentação ambiental e as instituições são muito precárias, as comunidades são pobres e não dispõem de recursos para pagar pelo “abatimento” dos danos ambientais. No 2º estágio, a CAK é decrescente, já que com o aumento de renda, a produção industrial se torna menos poluente, a qualidade ambiental passa a ser mais valorizada pela população, as leis e as instituições se tornam mais eficientes para a obtenção de um meio ambiente com maior qualidade ambiental, gerando assim o formato empírico de U-invertido observado para a curva.

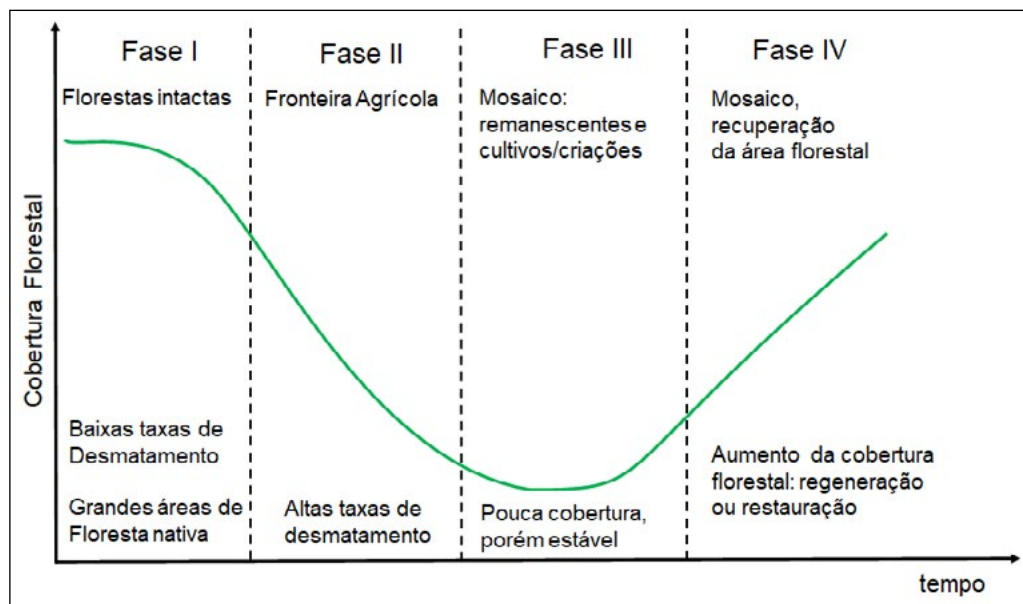
A partir da proposta da CAK por Grossman e Krueger (1991), vários estudos têm estudado a teoria. Dentre as obras que abordam o tema, pode-se destacar os trabalhos realizados por Panayotou (1993), Holtz-Eakin e Selden (1995) e Schmalensee (1998).

2.4 Teoria da transição florestal

O termo transição florestal foi inicialmente proposto por Mather (1992) e refere-se à mudança nas características de uso da terra que abrange um período de constante redução da cobertura florestal seguido de um período em que predomina a expansão de florestas. De forma similar ao que ocorre na CAK, que indica uma relação entre desenvolvimento econômico e poluição no formato de “U” invertido, a Teoria da Transição Florestal (TTF)

indica a existência de uma relação com uma curva em formato de “U” entre a cobertura florestal e o desenvolvimento econômico. De acordo com Barbier *et al.* 2017, essa transição se refere as mudanças de longo prazo que ocorrem nas florestas e na sociedade em seu entorno e descrevem o período em que o declínio da área da floresta é substituído pela recuperação florestal. A curva que representa a transição pode ser explicada em 4 fases distintas, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3. Fases do processo de transição florestal (Fases I a IV) e a variação da cobertura florestal



Fonte: Elaboração própria baseado em Angelsen (2007) e Calaboni (2017).

A fase I descreve o período no qual as florestas se encontram sem ou com pouca interferência externa devido as reduzidas atividades humanas e baixa densidade demográfica. Ela permanece nessa fase até que o avançar das atividades econômicas e humanas cause o declínio na cobertura florestal, entrando na segunda fase (CALABONI, 2017).

Na fase II encontra-se o aumento da urbanização, que fomenta atividades extrativistas, e a expansão de atividades primárias que compõe a base econômica. Neste período aumenta-se a demanda por bens agrícolas para consumo e para exportação, o que aumenta a demanda pelo solo cultivável para a expansão das fronteiras agrícolas, reduzindo a cobertura florestal (CALABONI, 2017).

A fase III conta com a menor concentração de cobertura florestal devido ao grande desmatamento ocorrido anteriormente. Nela, tem-se uma estabilidade na relação entre as florestas e a fronteira agrícola, estando relacionada principalmente a fatores econômicos e geográficos, como a redução da rentabilidade do solo, mudanças demográficas e alterações no valor relativo da terra (CALABONI, 2017).

A quarta e última fase (fase IV) é marcada por mudanças no quadro social, político-econômico, que promovem a preservação das florestas, seja, por exemplo, pela valorização dos cidadãos à métodos ambientalmente sustentáveis ou por políticas internas e externas. Esse novo cenário resulta em aumentos líquidos na cobertura florestal total, dado principalmente por florestas secundárias e pela regeneração natural e ativa das matas (CALABONI, 2017).

Assim como na CAK, a curva que descreve o processo da TTF busca explorar a evolução de um cenário ambiental em decorrência do crescimento e do desenvolvimento econômico. Ambas possuem estágios no qual essa relação se dá ora de maneira positivamente relacionada e ora de forma negativamente relacionada. Ademais, ambas exploram mecanismos de mudança na relação ao longo do tempo similares, como a sociedade, a economia e os métodos produtivos.

A transição é dada como um processo natural, com estudos indicando que países como a França e o Brasil já apresentam aumentos líquidos em sua área florestal (MATHER, 1992). Todavia, os mecanismos para a ocorrência dessa mudança são específicos para cada região e época, sendo interpretado de diversas formas por diferentes autores.

De acordo com Rudel *et al.* (2005), a transição florestal pode ser desencadeada através de dois principais fatores: a escassez de recursos florestais e o desenvolvimento econômico de uma nação. O primeiro fator supõe que a escassez de produtos florestais e ambientais fomenta a transição florestal, pois, conforme os produtos vão se esgotando, ocorre o aumento de seus preços e uma necessidade de maior cobertura florestal para cobrir a demanda, resultando assim no plantio e no reflorestamento das áreas. O segundo mecanismo supõe que a migração da população rural para áreas urbanas devido ao desenvolvimento econômico resulte na regeneração natural de áreas marginais anteriormente desmatadas para o uso agrícola.

Para Lambim e Meyfroidt (2010), as vias para a transição florestal são fundamentalmente relacionadas a dois grupos: o primeiro é o aumento da apreciação e demanda por bens e serviços naturais ocasionado pela redução destes e o segundo grupo é caracterizado por mudanças econômicas externas, como a globalização, urbanização ou o desenvolvimento, que afetam a lógica do uso da terra para um viés menos favorável à agricultura que ocasiona a recuperação natural das florestas.

Segundo Mather e Needle (1998) e Grainger (2008), os níveis de cobertura florestal podem variar ao longo da transição florestal. Isso pode ocorrer por mudanças nas condições e políticas vigentes que causam oscilações nos níveis de cobertura florestal e pelo deslocamento da produção agrícola para áreas mais férteis, o que promove o reflorestamento das áreas menos produtivas (MATHER; NEEDLE; 1998). Ainda, forças do mercado madeireiro podem promover de forma desigual tanto o plantio quanto o desmatamento em diferentes regiões do país (GRAINGER, 2008).

A Amazônia tem suas particularidades no que diz respeito a transição florestal. Seu processo de uso da terra está ligado a diversos fatores socioeconômicos e biofísicos que promovem mudanças nas atividades econômicas de modo cíclico. No curto prazo, áreas florestais são desmatadas para dar espaço a fronteira agrícola. No médio prazo, ocorre o abandono de áreas agrícola devido a degradação do solo ou rotação, o que promove o

surgimento de florestas secundárias, naturalmente ou por reflorestamento. No longo prazo, as florestas secundárias são desmatadas para que seu solo seja incorporado novamente no sistema produtivo (PERZ; SKOLE, 2003; SARAIVA *et al.*, 2020).

2.5 Valor do uso da terra

De forma geral, o uso da terra por agentes econômicos leva em consideração seu valor relativo. As decisões quanto a alocação das áreas para os diferentes usos da terra tem base comparativa e apresentam caráter dinâmico, transformando-se ao longo do tempo. Durante o processo de transição florestal, as alocações da terra estão baseadas no valor do seu retorno financeiro para os diferentes usos. A diminuição da base florestal em uma região costuma estar vinculada a uma expansão da fronteira agrícola. O processo inverso também é verdadeiro, quando ocorre aumento líquido de florestas, espera-se ter uma redução das áreas agrícolas. Estas mudanças estão relacionadas aos benefícios relativos que os agentes têm com a alocação de terra, que variam de acordo com diversos fatores. Sinais do mercado madeireiro, a preferência pela preservação de ecossistemas, leis de proteção ambiental, infraestrutura e, de modo geral, os custos de oportunidade e da conversão agrícola são alguns dos fatores que influenciam a tomada de decisão quanto à alocação do uso da terra (BARBIER *et al.*, 2010).

Os agentes podem optar pela preservação ambiental caso os benefícios marginais sejam maiores do que aqueles para a transformação da área para agropecuária. O preço da madeira e os benefícios ecossistêmicos podem tornar atrativa a produção de madeira e a conservação ambiental para os agentes. O custo de oportunidade da conversão de florestas para terra agrícola aumenta conforme a área florestal diminui e a escassez de produtos advindos das florestas aumenta. Ainda em relação a tomada de decisão quanto ao uso da terra, para que uma alocação eficiente seja atingida, os benefícios marginais dos produtos obtidos com uma exploração florestal sustentável e os benefícios da conservação ambiental devem ser equivalentes ao benefício marginal da produção agrícola da área convertida (BARBIER; BURGESS, 1997; SARAIVA, 2017).

A dinâmica da cobertura florestal e do uso da terra são dependentes dos valores competitivos utilizados na tomada de decisão. Todavia, esses valores podem se diferenciar dos valores ótimos devido a falhas de mercados, políticas entre outros fatores externos, que podem fomentar uma conversão excessiva de áreas florestais para espaços agrícolas e adiar o processo de transição florestal no país (BARBIER *et al.*, 2010).

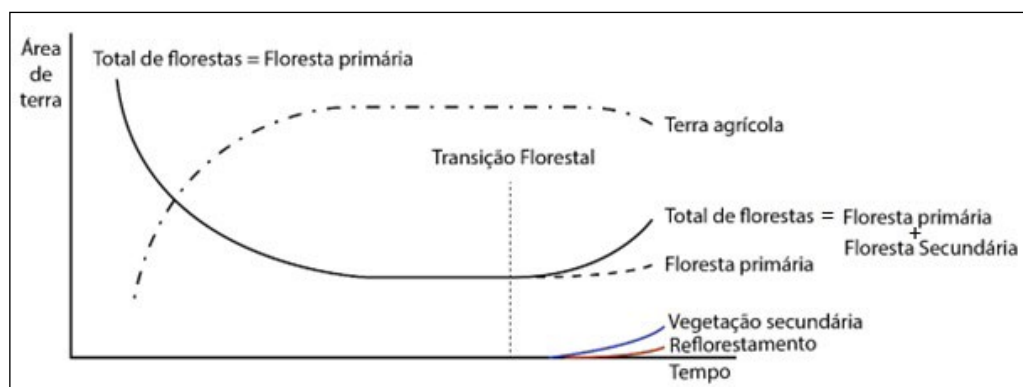
Um exemplo de fator que provoca aumento no desmatamento e o adiamento da transição florestal é a presença de infraestruturas de transporte. A construção de estradas permite um menor custo de transporte para as regiões e diminui consequentemente o custo de conversão das áreas florestais para terras agrícolas (WEINHOLD; REIS, 2008).

Por outro lado, algumas políticas podem ser efetivas para reduzir o desmatamento e acelerar o processo de transição. A restrição de crédito rural para áreas fora da legislação ambiental desincentiva o desmatamento ilegal e aumenta o custo de oportunidade da conversão florestal para área agrícola (ASSUNÇÃO *et al.*, 2015).

O uso do solo durante o período de transição florestal é dinâmico, podendo ser dividido em duas principais fases: a primeira fase é referente a diminuição da cobertura florestal, estando ligada a transição do uso de terra. Esta parte é caracterizada pela conversão de áreas de floresta primária para o uso na agricultura e pecuária. Assim, a expansão de áreas de pastagens e a demanda por alimentos e *commodities* causariam uma pressão ambiental sobre as áreas de florestas, ocasionando uma expansão da área agropecuária e um declínio da área florestal (BARBIER *et al.*, 2010).

A segunda fase é referente a recuperação da área florestal. Nela, o processo de desenvolvimento do país levaria ao aumento na demanda por madeira e por serviços ambientalmente positivos, ocasionando a ascensão da área de florestas através de florestas secundárias e a diminuição do espaço agrícola, estabilizando a cobertura florestal. Nesta fase ocorre também a regeneração de áreas previamente desmatadas de forma natural (BARBIER *et al.*, 2010).

Figura 4. Mudanças no uso da terra durante a transição florestal



Fonte: Elaboração própria com base em Barbier *et al.* (2010)

2.6 Perdas ocultas

O surgimento de novas florestas e o aumento líquido na cobertura vegetal representam indicadores quantitativos relacionados a área florestal. É necessário atentar-se não somente a quantidade de florestas existentes, mas também a qualidade destas. O período de transição florestal pode ocorrer em conjunto com perdas na biodiversidade, extinção de espécie e alterações na qualidade das florestas. O desmatamento de florestas mais antigas impacta diversas espécies de seres vivos que requerem um habitat mais maduro para sobrevivência e não conseguem se adaptar nas florestas secundárias, jovens, que surgem em seu lugar. A capacidade de absorção de gás carbônico também é inferior em florestas secundárias quando comparado com as florestas primárias (ROSA *et al.*, 2021).

As florestas jovens nem sempre surgem de forma uniforme ou semelhante as florestas primárias. A fragmentação de florestas também facilita a invasão de espécies exóticas que podem prejudicar o a fauna e a flora original das florestas (ROSA *et al.*, 2021). Os novos padrões de distribuição ou isolamento das árvores e florestas geram alterações nos habitats

presentes nas matas e causam impactos sobre a biodiversidade do local (GIBSON *et al.*, 2011).

Conforme evidenciado por Ellwanger *et al.* (2020), o desmatamento promove diversas mudanças no clima, habitat e distribuição de matas na região amazônica, fatores que podem causar impactos na saúde da população e contribuir para a disseminação de doenças nas localidades próximas aos seres humanos. A recuperação e o reflorestamento de áreas degradadas é uma forma de aliviar essas mudanças. Todavia, além de não ser tão eficiente quanto a conservação das florestas originais (ELLWANGER *et al.*, 2020), o reflorestamento requer grande organização e planejamento para ser executado de forma eficiente e sem impactos indesejados no meio ambiente (BUSTAMANTE *et al.*, 2019).

3 METODOLOGIA

3.1 Modelos econométricos

O modelo econométrico a ser empregado na análise será o método de dados em painel para testar a hipótese proposta pelo estudo. Este tipo de modelo permite observar dados empilhados com observações de séries temporais (anos analisados no modelo) e de seção cruzada (municípios) (GUJARATI; PORTER, 2011). As vantagens na utilização de modelos desta ordem incluem uma maior precisão na estimativa devido a maior quantidade de observações para cada indivíduo, bem como a possibilidade de identificar mudanças estruturais na relação entre a variável dependente e as variáveis explicativas (MARQUES, 2010).

A forma matricial da equação utilizada neste trabalho pode ser representada de acordo com a expressão (1) (GUJARATI; PORTER, 2011).

$$F_{it} = \alpha_i + x'_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Em que i representa os municípios da Amazônia Legal; t representa os anos do período temporal analisado; α_i são os efeitos particulares de cada município, constante ao longo do tempo; β é o vetor linha dos parâmetros das variáveis; x'_{it} é o vetor coluna das variáveis do município i no ano t ; ε_{it} é o erro da regressão; e F é o total de áreas florestais no município i e ano t . Os efeitos α_i descrevem um conjunto de variáveis individuais e estruturais de cada município que não variam ao longo do tempo. Estes podem ser fatores climáticos, do mercado consumidor, condições ambientais, entre outros.

Os modelos econométricos a serem estimados podem ser representados pelas expressões (2) e (3) e são baseados na proposta de Saraiva, 2017.

$$F_{it} = \alpha_i + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 D_{it} + \beta_4 M_{it} + \beta_5 A_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$F_{it} = \alpha_i + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 D_{it} + \beta_3 M + \beta_4 A_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Na qual Y_{it} corresponde ao PIB *per capita* no município i e ano t ; D_{it} é a densidade demográfica no município i e ano t ; e M é o valor da multa por área desmatada no município

i no ano t . Nesse caso, para se encontrar a curva convexa semelhante a TTF, deve-se obter na equação (2) $\beta_1 < 0$ e $\beta_2 > 0$, indicando assim retornos decrescentes para a variável no início que, após um ponto ótimo, tornam-se crescentes.

No modelo de efeitos fixos, o intercepto (α_i) varia para cada município, mas permanece constante ao longo do tempo. Para tanto, pressupõe-se que ele seja correlacionado com as variáveis explicativas. No modelo de efeitos aleatórios pressupõe-se que a heterogeneidade de cada município (α_i) não seja correlacionada com as variáveis explicativas, assumindo-se, portanto, que ela seja distribuída aleatoriamente entre os municípios (GUJARATI; PORTER, 2011).

O teste de Hausman (1978) permite definir qual a melhor opção na comparação entre o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios. A rejeição da hipótese nula no teste indica que os interceptos estão provavelmente correlacionados com um ou mais regressores, demonstrando que o modelo de efeitos fixos é preferível (GUJARATI; PORTER, 2011).

O teste de Breusch-Pagan (Breusch e Pagan, 1979) indica se é preferível utilizar o modelo de regressão com dados empilhados (*pooled*) em detrimento do modelo de efeitos aleatórios. A rejeição da hipótese nula do teste indica que é preferível utilizar o modelo de efeitos aleatórios (GUJARATI; PORTER, 2011).

O teste de Chow (1960) compara se há igualdade nas inclinações e nos interceptos para todos os modelos, caracterizando o modelo de dados empilhados (*pooled*). A rejeição da hipótese nula do teste indica a preferência pelo modelo de efeitos fixos em detrimento do modelo de dados empilhados (GUJARATI; PORTER, 2011).

3.2 Abordagem empírica

O modelo empírico do trabalho foi estruturado com a utilização da proporção de floresta em relação a área municipal como variável dependente. A variável servirá para indicar a evolução da cobertura florestal ao longo dos anos em análise. Utilizou-se dados para o período compreendido entre 2005 e 2020.

A teoria da transição florestal propõe que a mudança na cobertura florestal varia de acordo com o desenvolvimento econômico e com o valor relativo do uso da terra entre floresta e atividades agropecuárias. As mudanças de longo prazo que ocorrem nas florestas do país são advindas do valor de preservação das florestas em relação ao valor da sua alocação para atividades agropecuárias. O desenvolvimento da sociedade pode causar diferentes impactos no preço dos produtos florestais dependendo de seu estágio. No início do desenvolvimento econômico de uma nação, o aumento da demanda por comida gera aumento do valor para alocação do solo para produção agropecuária, em detrimento da sua alocação para conservação florestal. Todavia, a escassez de produtos florestais e a excessiva conversão agrícola podem fazer com que o valor de uso para conservação florestal ultrapasse o valor da terra alocada para agropecuária (BARBIER *et al.*, 2010).

Para o modelo empírico selecionou-se variáveis explicativas relacionadas a fatores socioeconômicos, demográficos e de políticas públicas. As variáveis empregadas são: PIB *per capita*, valor adicionado agropecuário (proporção), população e valor médio de

multas ambientais. Como fatores socioeconômicos, o PIB *per capita* busca entender como o desenvolvimento econômico geral da região impacta na cobertura florestal, enquanto a proporção do valor adicionado agropecuário em relação ao valor adicionado total busca apontar os efeitos do setor agrícola em específico sobre as florestas. O fator demográfico, representado pela população, busca explorar os impactos da densidade demográfica sobre as florestas. Por fim, o valor médio de multas ambientais busca analisar a eficiência desta política pública de controle na preservação e recuperação ambiental das florestas.

De modo semelhante à curva ambiental de Kuznets, a TTF apresenta um ponto de inflexão, que ocorre quando o processo de desenvolvimento econômico passa a gerar aumentos na área líquida de florestas. Assim, a curva pode ser semelhante a um “U”, com um ponto de inflexão no qual o desenvolvimento passa a ser positivamente relacionado com a proporção florestal. Uma outra possibilidade, não prevista pela TTF, seria que a relação tivesse um formato semelhante a um “N” invertido, no qual existem dois pontos de inflexão e a curva passa, no segundo ponto, a apresentar novamente uma relação negativamente relacionada entre o desenvolvimento e a proporção florestal (BERGH, 1998). O trabalho irá, devido às características da curva descrita na TTF, testar somente a hipótese da curva em formato de “U”.

3.3 Descrição das variáveis e fonte dos dados

As variáveis utilizadas no trabalho foram selecionadas para explicar diferentes efeitos sobre a cobertura florestal. Assim, buscou-se detectar fatores socioeconômicos, demográficos, de uso de terra e de políticas públicas. Algumas variáveis foram apresentadas em forma de logaritmo natural para amenizar possíveis distorções causadas pela magnitude dos dados, bem como para minimizar problemas relacionados a heterocedasticidade.

Para a variável dependente, foi utilizada a variável de proporção de floresta, que representa a área florestal em relação a área total do município. Para tal utilizaram-se valores divulgados pelo INPE através do Programa de Monitoramento da Amazônia e demais biomas – PRODES (INPE, 2022). Dentre os municípios da Amazônia Legal, o projeto mapeou e categorizou as informações de 760 municípios devido às limitações de tamanho para classificação via satélite. Assim, a proporção de área de floresta corresponde a toda área florestal remanescente no município dividida pela área total do município, conforme a expressão (4).

$$\text{Proporção de área florestal} = \frac{\text{Área florestal remanescente do município}}{\text{Área total do município}} \quad (4)$$

A variável densidade demográfica refere-se à população residente sobre a área dos municípios em cada ano, que combina dados do Censo Demográfico com a estimativa da população residente nos municípios realizada pelo IBGE para os demais anos. Os valores estão disponíveis no Sistema de recuperação automática – SIDRA (IBGE, 2023). O cálculo da variável é representado pela expressão (5).

$$\text{Densidade demográfica} = \frac{\text{População residente}}{\text{Área total do município}} \quad (5)$$

O Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de cada município foi utilizado em sua forma linear e elevada à segunda potência para possibilitar o teste do formato da curva da TTF. Os dados foram obtidos por meio do SIDRA (IBGE, 2023) e foram calculados dividindo-se o PIB de cada município por sua população. A variável é expressa em mil reais e entrou no modelo em logaritmo natural. A expressão (6) apresenta o cálculo desta variável.

$$\ln \text{ PIB per capita} = \ln \left(\frac{\text{PIB}}{\text{População}} \right) \quad (6)$$

O PIB agropecuário (proporção) foi obtido dividindo-se o valor adicionado bruto da agropecuária pelo valor adicionado bruto total em cada município. Ambos os dados foram obtidos através do SIDRA (IBGE, 2023). O cálculo da variável é representado pela expressão (7).

$$\text{Proporção de PIB agropecuário} = \frac{\text{Valor adicionado bruto agropecuário}}{\text{Valor adicionado bruto total}} \quad (7)$$

Por fim, o valor médio das multas foi calculado dividindo-se o valor total das multas quitadas de cada município pela sua área desmatada no ano. Os valores das multas foram obtidos através do IBAMA (IBAMA, 2023). Os dados referentes a área de desmatamento foram obtidos através do PRODES (INPE, 2022). Também se utilizou a forma de logaritmo natural para a variável. A expressão (8) apresenta o cálculo dos valores utilizados para esta variável.

$$\ln \text{ valor médio de multas} = \ln \frac{(1+\text{valor das multas})}{(1+\text{área de desmatamento})} \quad (8)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise exploratória dos dados

A análise descritiva dos dados utilizados para a elaboração do modelo econométrico é apresentada na Tabela 2. A Tabela 2 apresenta a média municipal dos dados utilizados para os anos de 2005 a 2020, tendo sido excluídos os municípios que apresentaram valor zero em algum dos anos da amostra.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis do modelo econométrico

Variável	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
Proporção de floresta	0,2675	0,2895	1,0820	0,0000	0,9908
Proporção PIB Agrícola	0,2602	0,1578	0,6065	0,0008	0,8856
ln PIB per capita	2,6759	0,6827	0,2551	1,1107	6,3820
ln Densidade Demográfica	1,7658	1,4630	0,8285	-3,2414	7,9707
ln valor médio de multa	0,1430	3,3854	23,6809	-6,7782	18,1439

Fonte: Resultados da pesquisa.

Á proporção de área coberta com florestas nos municípios é, em média, de 26,75% na Amazônia legal. A distribuição das áreas floresta ocorre de forma bastante desigual, havendo concentração principalmente nos estados do Amazonas e do Acre. As variáveis socioeconômicas são representadas pela proporção do PIB agrícola e pelo PIB *per capita*. O PIB agrícola representa, em média, 26% do valor total. O PIB *per capita* médio dos municípios foi de R\$19,32 mil anuais. A densidade demográfica média foi de 24,54 indivíduos por km² de território na Amazônia Legal. O Valor médio das multas na Amazônia legal foi de R\$20,531 mil por km² desmatado.

4.2 Resultados dos modelos econométricos

Inicialmente, foram realizados o teste de Hausman (1978), o teste de Breusch e Pagan (1979) e o teste de Chow (1960) para decidir pelo método de estimação mais adequado. A estatística do teste de Breusch e Pagan (1979) foi de 388 com *p-valor* de 0,00, indicando que é preferível utilizar o modelo de efeitos aleatórios em detrimento do modelo de dados empilhados. O teste de Chow (1960) apresentou estatística de 210,25 e *p-valor* de 0,00, indicando preferência pelo modelo de efeitos fixos em detrimento do modelo de dados empilhados. Por fim, o teste de Hausmann (1978) apresentou estatística qui-quadrado de 74,43 e *p-valor* de 0,00, indicando a preferência pelo modelo de efeitos fixos.

A Tabela 3 apresenta os resultados para o modelo (1) que representa a proporção de área florestal com a variável *ln PIB per capita* em sua forma linear e elevada ao quadrado e para o modelo (2) que apresenta somente esta variável em sua forma linear.

Dentre os modelos de efeitos fixos estimados, o modelo (1) apresentou valor de -21631,7 para o Critério de Informação Bayesiano (BIC) e valor de -2.811216 para o Critério de Informação de Akaike (AIC), enquanto o modelo (2) apresentou BIC de -21621.3 e AIC de -2.812255.

Tabela 3 – Regressores para proporção de cobertura florestal

Regressores	Modelo (1)			Modelo (2)		
	pooled	Efeito Fixos	Efeitos Aleatórios	pooled	Efeito Fixos	Efeitos Aleatórios
Constante	0,9216 *** (0,00)	-	0,5061 *** (0,00)	0,7727 *** (0,00)	-	0,4424 *** (0,00)
<i>ln PIB per capita</i>	-0,1610 *** (0,00)	-0,0475 *** (0,00)	-0,0487 *** (0,00)	-0,0575 *** (0,00)	-0,0034 (0,19)	-0,00379 (0,14)
(<i>ln PIB per capita</i>) ²	0,0173 *** (0,00)	0,0074 *** (0,00)	0,0075 *** (0,00)	-	-	-
Proporção PIB Agrícola	-0,4667 *** (0,00)	-0,0987 *** (0,00)	-0,1115 *** (0,00)	-0,4571 *** (0,00)	-0,0988 *** (0,00)	-0,1114 *** (0,00)
<i>ln Valor médio de multas</i>	0,0049 *** (0,00)	-0,0009 *** (0,00)	-0,0009 *** (0,00)	0,0047 *** (0,00)	-0,0010 *** (0,00)	-0,0010 *** (0,00)

Regressores	Modelo (1)			Modelo (2)		
	pooled	Efeito Fixos	Efeitos Aleatórios	pooled	Efeito Fixos	Efeitos Aleatórios
ln Densidade demográfica	-0,1083 *** (0,00)	-0,0403 *** (0,00)	-0,0571 *** (0,00)	-0,1072 *** (0,00)	-0,0395 *** (0,00)	-0,0565 *** (0,00)
R ²	0,26099	0,018	0,028	0,2592	0,017	0,026

Nota: *** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

O PIB *per capita* em sua forma linear apresentou relação negativa com a proporção de cobertura florestal para todos os modelos, demonstrando que à medida que este cresce, a cobertura florestal tende a diminuir. No modelo (2), o regressor para o PIB *per capita* em sua forma linear não se demonstrou estatisticamente significativo. A Sua forma quadrada se demonstrou estatisticamente significativa e positivamente relacionada no modelo (1).

A proporção do PIB agrícola em relação ao PIB total dos municípios apresentou-se negativamente relacionado com a proporção de cobertura florestal nos municípios, ou seja, quanto maior a proporção do PIB agrícola de um município, menor será a cobertura florestal em relação a área total deste. Assim, para o modelo (1) com efeitos fixos, um aumento de 1% na proporção do PIB agrícola em relação ao PIB total provoca uma diminuição, em média, de 0,0987 na proporção da cobertura florestal.

Para os modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios, o regressor do valor médio de multas por km² desmatado no município demonstrou-se estatisticamente significativa e negativamente relacionado com a proporção florestal.

A relação encontrada entre a densidade demográfica e a cobertura florestal demonstrou-se negativamente relacionada para todos os modelos. No modelo (1) com efeitos fixos, um aumento de 1% na densidade demográfica resulta, em média, em uma redução de 0,0403 na proporção florestal do município.

4.3 Discussão dos resultados

Os testes de Haumann (1978), Chow (1960) e Breusch e Pagan (1979) demonstraram a preferência pelo modelo de efeitos fixos em detrimento dos modelos de efeitos aleatórios ou de dados empilhados (*pooled*). O modelo (1), que conta com a variável PIB *per capita* em sua forma linear e sua forma elevada à segunda potência, e o modelo (2), que conta somente com a variável em sua forma linear, demonstraram critérios de informação e R² muito semelhantes. Todavia, no modelo (2) a variável PIB *per capita* não se demonstrou estatisticamente significativa.

As relações encontradas para as duas formas utilizadas do PIB *per capita* demonstram que inicialmente existe uma tendência de redução da cobertura florestal da região. Essa relação se inverte a partir de um determinado nível de renda, no qual aumentos no PIB *per capita* geram aumentos na cobertura florestal do local. Esse comportamento é indicativo de que a curva de transição florestal da Amazônia Legal apresenta formato de “U”, conforme proposto pela TTE.

Para o modelo (1) de efeitos fixos o nível de renda no qual o PIB *per capita* começa a influenciar positivamente a proporção florestal nos municípios é de aproximadamente R\$ 24,532 mil. Assim, em 2020, dos 760 municípios analisados para a Amazônia Legal, 221 se encontram após esse ponto de transição, com influências positivas do PIB *per capita* sob a proporção florestal.

A proporção do PIB agrícola em relação ao PIB total se demonstrou negativamente relacionada a cobertura florestal. Segundo Pfaff e Walker (2010), esse possível *trade-off* entre a atividade agrícola e a cobertura florestal requer uma análise cuidadosa. Os fatores que ocasionaram o aumento do PIB e desta proporção precisam ser levados em consideração.

Inovações tecnológicas que aumentam a produtividade por área de solo utilizada para fins agrícolas podem beneficiar a transição florestal, pois permitem que ocorra um aumento da produção (e conseqüentemente do PIB agropecuário) sem que haja conversão de terras florestais. Todavia, caso o aumento do PIB agropecuário e da produção sejam resultado de atividades extensivas, que se utilizam somente da expansão de fronteiras agrícolas com conversão de áreas florestais, ocorre uma intensificação do desmatamento e diminuição da cobertura florestal.

O valor das multas apresentou-se negativamente relacionado à cobertura florestal. Desta forma, pode-se inferir que o valor das multas não é suficiente para aumentar a proporção florestal dos municípios. Ademais, é evidente que municípios que tenham maiores taxas de desmatamento possuam conseqüentemente mais multas. O estudo de Silva *et al.* (2020) apresentou resultado semelhante para esta relação.

Como explicado por Barbier *et al.* (2010), o aumento da população de uma região tende a aumentar a pressão ambiental devido a demanda por alimentos, resultando em uma conversão de áreas florestais para áreas agropecuárias. Esta conversão tende a continuar até que os benefícios da manutenção das áreas de floresta se igualem ou superem os benefícios da conversão do solo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região da Amazônia Legal apresenta não somente grande importância para o equilíbrio ambiental mundial, mas também uma complexa relação com seus determinantes de desmatamento e cobertura florestal. As formas de controle empregadas para a conservação das florestas incluem a criação de políticas públicas, acordos com o setor privado e fiscalização para as ações ambientais na região. A implementação da região política da Amazônia Legal e do PPCDam causaram drásticos efeitos na conservação florestal ambiental da região, todavia ainda se observa crescentes taxas de desmatamento nos últimos anos.

A teoria da transição florestal é um processo dinâmico de longo prazo, no qual o declínio da área florestal é substituído por sua regeneração. Isso está relacionado a fenômenos de tomada de decisão em relação ao valor de uso relativo do solo, buscando-se uma alocação ótima. A tomada de decisão em relação ao uso da terra pode sofrer alterações de acordo com políticas, falhas de mercados e outros fatores, o que pode levar a uma diminuição excessiva nas áreas florestais e atrasar a transição florestal.

O estudo utilizou-se do modelo de dados em painel para verificar os principais determinantes para a proporção florestal na região, utilizando diferentes dados para analisar os fenômenos que podem levar a transição florestal.

Assim, verificou-se que os determinantes da proporção de florestas incluem o PIB *per capita*, densidade demográfica, a proporção do PIB agrícola e o valor médio de multas. Os determinantes demonstram que os indicadores socioeconômicos têm diferentes impactos na cobertura florestal da região. De modo geral, os resultados obtidos indicam que, ao longo do tempo, é possível obter aumentos na cobertura florestal em conjunto com os indicadores socioeconômicos. Em síntese, os resultados apontaram que as autuações ambientais empregadas não se demonstraram capazes de aumentar a cobertura florestal da região e que a pressão ocasionada pela população e pelo setor agrícola tendem a diminuir a cobertura florestal devido aos valores relativos do uso do solo.

A região não demonstrou ganhos líquidos constantes de cobertura florestal, assim, estando localizada, provavelmente, na fase II da curva de transição florestal, pois apesar de haver certa estabilização da cobertura florestal nos últimos anos, as taxas de desmatamento continuam elevadas e em crescimento.

Com isso, deve-se levar em consideração que a cobertura florestal utilizada no desenvolvimento do trabalho não faz distinção entre florestas primárias e florestas secundárias. O reflorestamento no bioma se dá principalmente através do incremento de florestas secundárias, o que ocasiona uma preocupante perda de complexidade e biodiversidade da fauna e flora do local.

A divulgação dos dados pelo TerraClass (IBGE, 2023a) referentes ao uso do solo na região da Amazônia Legal estão paralisados até o momento. A retomada da publicação desses dados pode permitir uma análise mais aprofundada quanto as classes uso do solo e da proporção de florestas secundárias na região. Ademais, uma análise com um período temporal maior pode fornecer mais detalhes quanto ao formato da curva e do comportamento das variáveis ao longo do tempo, uma vez que o processo da TTF é dinâmico e ocorre à longo prazo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, v. 209, n. 2-4, p. 169-188, dez. 2007.

ANGELSEN, A. **Forest Cover Change in Space and Time: Combining the Von Thunen and Forest Transition Theories**. Washington, World Bank Policy Research Working Paper 4117. 2007.

ASSUNÇÃO, J.; Gandour, C.; Rocha, R. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 6, p. 697-722, 2015.

BARBIER, E. B.; BURGESS, J. C. The Economics of Tropical Forest Land Use Options. **Land Economics**, v. 73, n. 2, p. 174, 1997.

BARBIER, E.B.; BURGESS, J.C.; GRAINGER, A. The forest transition: towards a more comprehensive theoretical framework. **Land Use Policy**, v. 27, n. 2, p. 98–107, 2010

BARBIER, E. B.; DELACOTE, P.; WOLFERSBERGER, J. The economic analysis of the forest transition: A review. **Journal of Forest Economics**, v. 27, p. 10–17, abr. 2017.

BRASIL. **Lei Complementar nº 124, de 3 de janeiro de 2007**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp124.htm#:~:text=DA%20SUDAM-,Art.,ao%20Ministério%20da%20Integração%20Nacional. Acesso em: 01 de mar. 2023.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA)**. 2022. em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). **Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM)**. Disponível em: <https://www.gov.br/sudam/pt-br>. Acesso em: dez. 2023.

BREUSCH, T.S.; PAGAN, A.R. A Simple Test for Heteroskedasticity and Random Coefficient Variation. *Econometrica*, v. 47, n. 5, p. 1287–1294, 1979

BRUYN, S.M; BERGH, J.C.J.M.; OPSCHOOR, J.B. Economic Growth and Emissions: Reconsidering the Empirical Basis of Environmental Kuznets Curves. **Ecological Economics**, v. 25, n. 2, p. 161-175, 1998.

BUSTAMANTE, M. M. C. ; SILVA, J. S.; SCARIOT, A.; SAMPAIO, A. B.; MASCIA, D. L.; GARCIA, E., SANO, E.; FERNANDES, G. W.; DURIGAN, G.; ROITMAN, I.; FIGUEIREDO, I.; RODRIGUES, R. R.; PILLAR, V. D.; OLIVEIRA, A. O.; MALHADO, A. C.; ALENCAR, A.; VENDRAMINI, A.E; PADOVEZI, A.; CARRASCOSA, H.; FREITAS, J.; SIQUEIRA, J. A.; SHIMBO, J.; GENEROSO, L. G.; TABARELLI, M.; BIDERMAN, R.; SALOMÃO, R. P.; VALLE, R. ; JUNIOR, B.; NOBRE, C. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 24, n. 7, p. 1249–1270, 2019.

CALABONI, A. **Transição Florestal no estado de São Paulo, Brasil: fatores associados ao desmatamento e recuperação das matas nativas**. 2017. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.

CHOW, G. C. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. **Econometrica**, v. 28, n. 3, p. 591-605, 1960.

ELLWANGER, J. H. *et al.* Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 1, 2020.

GIBBS, H.K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHELLY, I.; MORTON, D.C.; NOOJIPADY, P.; SOARES-FILHO, B.; BARRETO, P.; MICOL, L.; WALKER, N.F. Brazil's Soy Moratorium. **Science**, v. 347, n. 6220, 2015.

GIBSON, L.; LEE, T. M.; KOH, L. P.; BROOK, B. W.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; PERES, C.A.; BRADSHAW, C. J. A.; LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; SODHI, N. S. Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. **Nature**, v. 478, p. 378–381, 2011.

GRAINGER, A. Difficulties in tracking the long-term global trend in tropical forest area. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 2, p. 818–823, 2008.

GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. **Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement**. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1991. 57 p. (NBER Working paper series, n. 3914).

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924 p.

HAUSMAN, J.A. Specification Tests in Econometrics. **Econometrica**, v. 46, n. 6, p. 1251–1271, 1978.

HOLTZ-EAKIN, D.; SELDEN, T. M. Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth. **Journal of public economics**, v. 57, n. 1, p. 85–101, 1995.

HYDE, W. **The Global Economics of Forestry**. Nova York, RFF Press, 2012. p. 13–93.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. **Multas e Autuações**. Disponível em: <<https://servicos.ibama.gov.br/ctf/publico/areasembargadas/ConsultaPublicaAreasEmbargadas.php>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de Recuperação Automática - SIDRA**. 2023. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>>. Acesso em: 5 jan. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Amazônia Legal**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Coordenação-Geral de Observação da Terra (DETER)**. 2023b. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/deter/deter>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. **PRODES**. Coordenação-Geral de Observação da Terra. 2022. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 15 dez 2022.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TERRACLASS**. INPE/Centro Regional da Amazônia de Pesquisas Espaciais. 2023a. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php>. Acesso em: 10 jan. 2023.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TERRABRASILIS**. Geographic Data Platform. 2023c. Disponível em: <<http://terrabilis.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **American Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 1–28, 1955.

MARQUES, L. D. **Modelos Dinâmicos com Dados em Painel: revisão de literatura**. Faculdade de Economia do Porto. 2010. 84 p.

MATHER, A. S. The Forest Transition. *Area*, v. 24, n. 4, p. 367–379, 1992.

MATHER, A. S.; NEEDLE, C. L. The forest transition: a theoretical basis. **Area**, v. 30, n. 2, p. 117–124, 1998.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. **Land Use Policy**, v. 27, n. 5, p. 108–118, 2010.

OMETTO, J. P.; AGUIAR A.P.D.; MARTINELLI, L.A. Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges. **Carbon Management**, v. 2, n. 5, p. 575–585, 2011.

PANAYOTOU T. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. Geneva: International Labour Office, 1993.

PERZ, S. G.; SKOLE, D. L. Secondary Forest Expansion in the Brazilian Amazon and the Refinement of Forest Transition Theory. **Society & Natural Resources**, v. 16, n. 4, p. 277–294, 2003.

PFAFF, A.; WALKER, R. Regional interdependence and forest “transitions”: Substitute deforestation limits the relevance of local reversals. **Land Use Policy**, v. 27, n. 2, p. 119–129, 2010.

ROSA, M. R.; BRANCALION, P. H. S.; CROUZEILLES, R.; TAMBOSI, L. R.; PIFFER, P. R.; LENTI, F. E. B.; HIROTA, M.; SANTIAMI, E.; METZGER, J. P. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. **Science Advances**, v. 7, n. 4, p. 1–9, 2021.

RUDEL, T. K.; COOMES, O. T.; MORAN, E.; ACHARD, F.; ANGELSEN, A.; XU, J.; LAMBIN, E. Forest transitions: Towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change*, v. 15, n. 1, p. 23–31, 2005.

SARAIVA, M. B.; FERREIRA, M.D.P.; CUNHA, D.A., DANIEL, L.P.; HOMMA, A.K.O.; PIRES, G.F. Forest regeneration in the Brazilian Amazon: Public policies and economic conditions. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, 112424, 2020.

SARAIVA, M. B. **Transição florestal no bioma Amazônia: dinâmica e condicionantes socioeconômicos**. 2017. 80f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

SCHMALENSEE, R.; STOKER, T. M.; JUDSON, R. A. World carbon dioxide emissions: 1950–2050. **Review of Economics and Statistics**, v. 80, n. 1, p. 15-27, 1998.

SILVA I.A.C.; MARCELINO, G.C.; PARRÉ, J.L. Determinantes do desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira: uma análise econométrica espacial. In: XXIII Encontro de Economia da Região Sul – ANPEC SUL, 2020, Porto Alegre. **Anais do XXIII Encontro de Economia da Região Sul**. Porto Alegre: 2020.

SULLIVAN, A. O. **Urban economics**, 4. ed. Homewood: Irwin. 1996.

WEINHOLD, D.; REIS, E. Transportation costs and the spatial distribution of land use in the Brazilian Amazon. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 54–68, 2008.