

# Modelos para a previsão de alertas de desmatamento na Amazônia Legal

Iago Gomes Gonçalves<sup>1</sup>

Marcelo Dias Paes Ferreira<sup>2</sup>

## Resumo

Este estudo buscou criar um modelo para a previsão dos alertas de desmatamento na Amazônia legal a partir dos dados gerados pelo monitoramento via satélite do DETER-B, entre agosto de 2015 e dezembro de 2021. A série temporal de alertas de desmatamento foi especificada e, em seguida, realizou-se previsões dos alertas de desmatamento, se valendo dos modelos de previsão da classe ARIMA sazonais. Foi identificada a presença de quebra estrutural e sazonalidade estocástica. Isso posto, foram feitas previsões dinâmicas para seis períodos a frente do último valor da amostra, a fim de comparar com os valores de fora da amostra e verificar a qualidade das previsões. Verificou-se que as especificações foram precisas em prever os alertas seis meses à frente, indicando que os formuladores de políticas públicas podem criar expectativas razoáveis quanto aos alertas, principalmente, ao permitir a adoção de medidas de cunho preventivo ao desmatamento.

**Palavras chave:** Desmatamento, Amazônia Legal, Modelos de previsão.

## Abstract

This study sought to create a forecast model for deforestation alerts in the Legal Amazon from data generated by satellite monitoring of DETER-B between August 2015 and December 2021. The time series of deforestation alerts was specified and then, forecasts of deforestation alerts were made, using seasonal ARIMA class forecasting models. The presence of structural break and stochastic seasonality was identified. That said, dynamic forecasts were made for six periods forward of the last value of the sample, in order to compare with the values outside the sample and verify the quality of the forecasts. It was found that the specifications were accurate in predicting the alerts six months forward, indicating that public policymakers can create reasonable expectations about the alerts, mainly by allowing the adoption of preventive measures for deforestation.

**Keywords:** Deforestation, Legal Amazon, Forecasting models.

**Área 9:** Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade

**Classificação JEL:** Q23, Q28, Q57.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Economia Aplicada pelo PPGEA/UFV. E-mail: [iago.g.goncalves@ufv.br](mailto:iago.g.goncalves@ufv.br)

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Departamento de Economia Rural (DER/UFV). E-mail: [marcelo.ferreira@ufv.br](mailto:marcelo.ferreira@ufv.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A política ambiental, bem como os resultados dessas, tem sido um forte condicionante da competitividade da agricultura. No âmbito brasileiro, sobretudo na região Amazônica, as políticas ambientais são fatores de relevância estratégica e transversal a diversos setores e áreas governamentais. Desse modo, a proteção do bioma nativo é condição imperativa para a manutenção de fatores biofísicos essenciais para o bem-estar humano, como também para a produção agropecuária e energética nas demais regiões do país (GANDOUR, 2021).

Apesar da terra ser um fator de produção essencial para a agropecuária, avanços tecnológicos podem fazer com que uma estagnação da fronteira agrícola tenha um impacto quase nulo na economia Brasileira (FILHO; RIBERA; HARRIDGE, 2015). Isso ocorre porque o avanço na fronteira agrícola no Brasil, sobretudo no bioma Amazônico, se dá por meio de uma lógica de acumulação de ativos e especulação do uso da terra Bowman *et al.*, (2012) e o fator terra é usado de maneira ineficiente na Amazônia Legal<sup>3</sup> (FERREIRA; FÉRES, 2020).

O Brasil foi o país que mais perdeu área de floresta na última década (2010-2020), seguido pela República Democrática do Congo, Indonésia e Angola (FAO, 2020). Segundo o relatório, a área de floresta perdida pelo Brasil a cada ano na última década correspondeu a 1,5 milhão de hectares, no entanto, apesar do resultado negativo, o volume da área perdida foi reduzido. Em termos comparativos, entre 1990 e 2000 a taxa anual de perda líquida de floresta foi de 3,78 milhão de hectares, enquanto entre 2000 e 2010 a taxa anual de perda líquida de floresta foi de 3,95 milhão de hectares, antes de reduzir para 1,5 milhão de hectares em 2010-2020.

Conforme Reydon, Fernandes e Telles (2020), o desmatamento na Amazônia é resultado da continuidade dos padrões de expansão da fronteira agrícola no Brasil, incluindo processos como: ocupação de terras sem direitos legais, extração de madeira, pecuária e desenvolvimento de práticas agrícolas modernas. Nesse sentido, a prática de desmatamento na Amazônia Legal se relaciona também com a grande quantidade de terras vagas existentes, o que torna a prática de desmatamento uma ação financeiramente atrativa e, ao mesmo tempo, especulativa, tendo em vista a combinação de fatores geradores de incerteza, como um regime de posse menos rigoroso e política de proteção pública reduzida (SPAROVEK *et al.*, 2019).

Nessa perspectiva, Stabile *et al.* (2020) destacam o forte potencial agrícola brasileiro desde a década de 1970, com a expansão da agricultura brasileira na Amazônia Legal ocorrendo sob um custo de 65 milhões de hectares de ecossistemas nativos que foram transformados em áreas de cultivo ou de pastagens entre 1985 e 2018. Nesse sentido, é fundamental encontrar uma estratégia que concilie produção e redução do desmatamento, que os autores denominam quebra cabeça do uso da terra no Brasil, para aumentar a produção e, ao mesmo tempo, desacelerar o desmatamento na Amazônia.

O avanço da agropecuária no Mato Grosso e da pecuária no Pará na década de 1990 até meados dos anos 2000 representaram uma ameaça ao desmatamento da Floresta Amazônica (FILHO, 2016). Nesse período, observou-se que a taxa anual de desmatamento da Amazônia Legal aumentou consideravelmente, sobretudo entre 1998 e 2004, ao atingir o segundo maior valor da série histórica, com cerca de 27.772 km<sup>2</sup> de área desmatada em 2004. Nesse mesmo período houve o aumento da produção de grãos pelo Brasil (CONTINI *et al.*, 2006), acompanhado pelo crescimento significativo da procura internacional por soja e carne bovina (BRANDÃO; REZENDE; MARQUES, 2006).

Nessa perspectiva, ao passo que a pressão da sociedade junto ao poder público aumentava para que o Brasil controlasse suas altas taxas de perda florestal, e diante de um

---

<sup>3</sup> A região da Amazônia Legal, delimitada pela Lei nº 1.806, de 1953, compreende uma área criada para fins políticos de atuação da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) com o objetivo de realizar projetos de desenvolvimento (PIERANTI; SILVA, 2007).

aumento significativo nas taxas de desmatamento na região da Amazônia Legal, o Brasil criou o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). Concebido em 2004, o PPCDAm representou um esforço coordenado pelo Governo Federal com caráter interministerial cujo objetivo era reduzir o desmatamento de maneira contínua e promover um conjunto de condições que possibilitassem a transição para um modelo de desenvolvimento sustentável na Amazônia Legal (BRASIL, 2004).

Criado em 2004 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a fim de atender a demanda do PPCDAm, o Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER) teve como principal objetivo fornecer suporte à fiscalização e controle de desmatamento realizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), ICMBio, Secretarias Estaduais de Meio Ambiente dentre outros órgãos (INPE, 2019). Esse sistema de alertas se destacou por oferecer um levantamento em tempo quase real de evidências de alterações na cobertura florestal, especificamente na ocorrência de corte caso e áreas de degradação florestal superiores a 25 hectares, permitindo que práticas ilegais na Amazônia fossem descobertas em tempo recorde (DINIZ *et al.*, 2015). Já entre 2007 e 2008, os decretos nº 6.321/2007 e nº 6.514/2008 representaram instrumentos políticos importantes para o controle de perdas da cobertura florestal na região amazônica.

À luz das medidas legislativas concebidas na primeira década dos anos 2000, entre 2007 e 2014 foi registrada uma redução de cerca de 72% dos recursos direcionados ao PPCDAm (CASTELO *et al.*, 2018), ao mesmo tempo em que emergia um cenário de crise econômica e deterioração do compromisso com a regulamentação ambiental brasileira, corroborando para a tendência de aumento das taxas de desmatamento da Amazônia Legal após 2012 (BURGESS; COSTA; OLKEN, 2019). Fearnside (2020) sugere que a promulgação da Lei 12.651/2012 enfraqueceu a nova versão do Código Florestal, ao flexibilizar regras referentes ao cumprimento das normas de conservação da vegetação. Malingreau, Eva e Miranda (2012) argumentam que, apesar dos esforços das autoridades para controlar o desmatamento, a reversão de tendência era esperada, à medida que novas políticas ambientais foram propostas para atender aspirações econômicas na região amazônica, em um período de nível de desmatamento relativamente baixo.

No entanto, segundo Assunção, Gandour e Rocha (2019), o monitoramento da vegetação no território da Amazônia Legal através do DETER possibilitou a aplicação da lei ambiental de modo eficaz, ao passo que alterações na cobertura florestal maiores que 25 hectares passaram a ser detectadas mais rápido. Entretanto, Gandour (2021) argumenta que os instrumentos utilizados no combate ao desmatamento precisam ser constantemente aprimorados, tendo em vista que os agentes desmatadores adaptam suas práticas ilegais, à medida que novas formas de monitoramento são adotadas.

Isso é reforçado pela mudança nos padrões de desmatamento ao longo do tempo, como a redução do tamanho médio das áreas de corte raso (ROSA; SOUZA JR.; EWERS, 2012), e a redução em 46% de clareiras florestais superiores a 50 hectares e o aumento em 34% de clareiras inferiores a 1 hectare entre 2001 e 2014 (KALAMANDEEN *et al.*, 2018). Ainda, Montibeller *et al.*, (2020) atentam para a redução do número de grandes manchas (> 6,25 ha) de perda florestal entre 2001 e 2015, porém, nos dois anos seguintes, o número de manchas aumentou significativamente. Desse modo, nota-se a adoção crescente de práticas de desmatamento em pequena escala na Amazônia, ou seja, os desmatadores se adaptaram aos mecanismos de detecção de desmatamento pelo sistema de monitoramento via satélite.

Nos últimos anos, têm-se observado um comportamento crescente do desmatamento em grande escala, com polígonos maiores que 100 hectares (INPE, 2022), além do estímulo a práticas de grilagem (BRITO *et al.*, 2019), mineração clandestina e exploração madeireira predatória (FILHO, 2020). Tais práticas se configuram como uma resposta dos desmatadores às estratégias políticas ambientais passivas adotadas pelo Brasil nos últimos anos, segundo

Trancoso (2021), alinhado, especialmente, a expectativa de impunidade da parte dos desmatadores (RAJÃO *et al.*, 2021; VALDES *et al.*, 2019). Sob essa ótica, uma mera sinalização de convivência a práticas contrárias às políticas ambientais vigentes, pode desencadear uma série de atos ilegais. Portanto, o compromisso com a legislação é fundamental para que haja redução do desmatamento na Amazônia (GANDOUR, 2021).

À vista disso, em resposta as mudanças nos padrões de desmatamento, o Centro Regional da Amazônia do INPE desenvolveu o projeto DETER-B (INPE, 2019). O DETER-B permite a realização de mapeamento dos alertas de desmatamento e demais coberturas florestais, em tempo quase real, com área mínima próxima de 1 hectare (DINIZ *et al.*, 2015). O objetivo principal do DETER-B é aumentar a capacidade de detecção de desmatamentos em estágios iniciais de degradação ambiental, facilitando a priorização das áreas com indícios de desmatamento por parte das entidades fiscalizadoras (INPE, 2019).

Ainda que o uso estratégico de tecnologias de monitoramento forneça instrumentos essenciais de combate ao desmatamento, é primordial que o Brasil assegure respaldo institucional para que o estado tenha capacidade de resposta efetiva a práticas ilegais de desmatamento (FINER *et al.*, 2018; GANDOUR, 2021). Nessa perspectiva, as ameaças crescentes ao meio ambiente nos últimos anos no Brasil, sobretudo a ascensão do número de alertas de desmatamento emitidos, são associadas ao enfraquecimento dos órgãos ambientais e do código florestal, anistia ao desmatamento e redução das áreas protegidas (VALDES *et al.*, 2019; VALE *et al.*, 2021).

Ainda, acontecimentos recentes reforçam a trajetória de precarização da fiscalização ambiental de órgãos federais, seja pela redução de repasses financeiros ou por alterações e flexibilizações ambientais (RAJÃO *et al.*, 2021). Dito de outro modo, a negligência com as políticas ambientais no Brasil vêm potencializando o desmatamento na Amazônia (COELHO-JUNIOR *et al.*, 2022). Tendo em vista a fragilidade institucional do país nos últimos anos, a pandemia de COVID-19 também se concebeu como uma oportunidade de enfraquecimento da proteção ambiental, em que 49% das mudanças na legislação ambiental ocorreram nos primeiros sete meses de pandemia, de março a agosto de 2020, somado a uma redução de cerca de 70% das multas ambientais (VALE *et al.*, 2021).

Entretanto, a experiência brasileira no combate ao desmatamento por meio de políticas públicas, sistemas de monitoramentos integrados (RAJÃO *et al.*, 2021), somado a intervenções em cadeias de produção para frear o avanço das fronteiras agrícolas já se mostraram eficazes (NEPSTAD *et al.*, 2014). Portanto, há uma necessidade de restaurar as políticas de comando e controle contra o desmatamento, segundo Trancoso (2021), haja vista a deterioração institucional brasileira em termos de políticas ambientais e a mudança nos padrões de desmatamento na Amazônia, mas ressaltando que o conjunto de ações é que torna o combate ao desmatamento mais eficaz (GANDOUR, 2021).

Dentro do escopo do uso estratégico dos sistemas de monitoramento no combate ao desmatamento, trabalhar com modelos de previsão de alertas de desmatamento apresenta conotação estratégica no que tange a fiscalização de áreas desmatadas e aplicação de sanções aos infratores. A exemplo de Costa *et al.*, (2021), em que fizeram uma projeção do desmatamento anual na Amazônia Legal sete períodos a frente da última observação da amostra. Nesse sentido, técnicas de previsão de séries de tempo auxiliam a tomada de decisão em atividades que requerem planejamento, pois o desenvolvimento desses modelos permite a interpretação, previsão e teste das hipóteses referentes aos dados utilizados (LIMA, 2015).

Dessa maneira, nota-se a importância de incluir modelos para previsão de desmatamento no planejamento de políticas públicas de combate ao desmatamento, sobretudo vinculadas a ações preventivas, levando em conta os dados dos alertas emitidos pelo sistema DETER-B. Além do mais, que tenham funcionalidade em conjunto com órgãos fiscalizadores, para frear o número de alertas de desmatamento emitidos e, conseqüentemente, os índices oficiais de

desmatamento, ao mesmo tempo em que o número de sanções aplicadas seja coerente com o número de alertas emitidos quase em tempo real. Somado ao fato que, ao ocorrer adaptação dos agentes desmatadores à política ambiental, tais políticas podem perder efetividade. Por isso, uma ferramenta que auxilie na previsão de ocorrência do desmatamento pode ser de suma importância para as autoridades.

Diante da emergência do Brasil retomar políticas efetivas no combate ao desmatamento, especialmente na Amazônia Legal, se valendo dos dados referentes aos monitoramentos via satélite dos alertas de desmatamento na região da Amazônia Legal, coletados pelo DETER-B e disponibilizando pelo portal TerraBrasilis<sup>4</sup>, o objetivo desse estudo consiste em analisar os dados agregados mensais da área total sob alertas de desmatamento na região da Amazônia Legal de agosto de 2015 a dezembro de 2021. Para isso, os dados serão ajustados a modelos da classe ARIMA a fim de especificar qual o modelo gerador da série de avisos de desmatamento e, posteriormente, realizar previsões dos valores das áreas sob alerta de desmatamento da Amazônia Legal seis períodos a frente para dados de fora da amostra, de janeiro a junho de 2022, com o intuito de mensurar a qualidade da previsão e, dessa maneira, verificar a aplicabilidade de modelos de previsão em políticas preventivas de combate ao desmatamento.

Além desta introdução, o trabalho é dividido em 6 seções. A seção 2 apresenta uma breve revisão de literatura, discorrendo acerca do desmatamento na Amazônia por diferentes perspectivas. A seção 3 descreve a fonte de dados e o modelo empírico utilizado, como também os procedimentos econométricos. A seção 4 contém os resultados das estimações. A seção 5 contém as considerações finais do trabalho e, por último, as referências utilizadas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A Amazônia é objeto de estudo em diferentes âmbitos e vêm enfrentando um aumento nas taxas de desmatamento nos últimos anos, agravado especialmente desde 2019 (AMIGO, 2020). Nesse sentido, as projeções de um cenário desfavorável com aumento do desmatamento são reforçadas a partir do aumento do número de alertas de desmatamento emitidos em 2020, em torno de 34% maior que a média dos anos anteriores (INPE, 2020).

Kohlhepp (2002) analisou os conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira, ressaltando que a região da Amazônia Legal é a maior área de florestas tropicais do mundo e que da década de 1970 ao início dos anos 2000, passou por uma série de programas de desenvolvimento regional, com objetivos infra estruturais. Já Tacconi *et al.*, (2019) avalia a aplicação da lei florestal referente ao desmatamento no Brasil e faz um paralelo com as aplicações das leis florestais na Indonésia, as quais não foram hesitosas. Assim, a combinação de instrumentos de política ambiental em vigor no Brasil se mostra promissora, à medida que fornece subsídios para outros países aplicarem leis que reduzam o desmatamento em seu território.

O monitoramento remoto via satélite e a fiscalização tem apresentado resultados efetivos contra o desmatamento no Brasil (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2019). A necessidade de informações em tempo quase real, sobretudo para antecipar a ação ilegal dos desmatadores torna essa ferramenta de suma importância, como abordado por Finer *et al.*, (2018). Os autores afirmam que os avanços tecnológicos em termos de monitoramento desempenham papel fundamental na realização de metas locais, nacionais e internacionais e que as evidências de monitoramento no Brasil exibem resultados positivos, mas que há necessidade de promover o fortalecimento institucional e envolvimento da sociedade civil para progredir ainda mais nos resultados.

---

<sup>4</sup> O portal TerraBrasilis é uma plataforma de dados geográficos desenvolvida pelo INPE para consulta, análise e compartilhamento de dados gerados pelos projetos de monitoramento da vegetação nativa como o PRODES e o DETER (TerraBrasilis, 2022).

Moffette *et al.*, (2021) analisam o impacto da utilização de alertas de desmatamento em 22 países tropicais. Os resultados mostram que os alertas de desmatamento diminuíram em 18% a probabilidade de desmatamento na África em relação aos níveis médios de 2011-2016, no entanto, não foram encontradas evidências de redução de desmatamento em outros continentes. No caso brasileiro, Mataveli *et al.*, (2021) destacam os pontos de desmatamento que foram descobertos as margens da BR-319 após a publicação de editais de pavimentação da rodovia. Os autores apontam que três meses após a divulgação dos editais, as queimadas e os alertas de desmatamento aumentaram significativamente, mas salienta-se que não houve estudo de impacto ambiental, o que reforça a possibilidade de haver um aumento nas áreas sob alerta de desmatamento, à medida que a legislação e fiscalização ambiental possuem falhas e não possuem contingente capaz de atender toda a extensão da rodovia. Em consonância, Rajão *et al.*, (2021) afirmam que a redução do quadro de pessoal dos órgãos fiscalizadores impactou diretamente a realização de atividades fiscalizatórias de maneira efetiva.

O estudo do desmatamento em paralelo com a produção agrícola é de suma importância para o Brasil. Ferreira e Coelho (2015) associam o processo de desmatamento na Amazônia Legal a fatores de mercado, como variações nos preços de commodities agrícolas, como também políticas governamentais que combatem o desmatamento. Os resultados encontrados sugerem uma forte influência dos preços agrícolas em termos explicativos do desmatamento, enquanto os gastos referentes a políticas não tiveram grandes efeitos. Segundo Koch *et al.* (2019), a produção agropecuária brasileira não foi impactada pelas políticas voltadas a redução da perda florestal. A perspectiva econômica da inter-relação entre produção agropecuária e desmatamento corrobora para tal afirmação, à medida que, entre 2004 e 2012, a taxa de desmatamento na região da Amazônia Legal caiu mais de 80%, enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) real da agropecuária realizada na Amazônia Legal aumentou em mais de 50% (GANDOUR, 2021).

Costa *et al.*, (2021) avaliam o desmatamento na região da Amazônia Legal Brasileira, a partir dos dados históricos de desmatamento gerados pelo PRODES de 1988 a 2018. Os autores objetivaram construir previsões de desmatamento para os setes anos posteriores fora da amostra, de 2019 a 2023. Foram levados em conta dois cenários, o primeiro sem intervenção na série e o segundo com intervenção na série. Os resultados apresentaram resultados aceitáveis e os autores reforçam a necessidade de fortalecimento da estrutura governamental de cunho ambiental para a região da Amazônia Legal Brasileira.

Gandour (2021) argumenta que os resultados das avaliações empíricas não devem ser analisados e interpretados sobre ações específicas, mas sim como evidências sob um arranjo de instrumentos de política pública. Sendo assim, o conjunto de esforços de monitoramento, fiscalização e sanções foram eficazes no combate ao desmatamento a partir de 2004 até meados de 2012 (ARIMA *et al.*, 2014; MELLO; ARTAXO, 2017). Nesse período, a área desmatada total na Amazônia Legal apresentou quedas sucessivas, reduzindo de 27.772 km<sup>2</sup> em 2004 para 4.571 km<sup>2</sup> em 2012, mínima histórica registrada pela série do DETER (INPE, 2022).

Embora cerca de 1,3% dos alertas de desmatamento na Amazônia tenham correspondido a autos de infração pelo IBAMA entre 2019 e 2020 (COELHO-JUNIOR *et al.*, 2022), o sistema de monitoramento que emite alertas de desmatamento na região da Amazônia Legal (DETER-B) é primordial para que a engrenagem do combate ao desmatamento possa funcionar de maneira adequada, à medida que seus resultados podem ser interpretados como um termômetro da evolução do desmatamento, mesmo que não possa ser analisado sob a perspectiva da taxa real de desmatamento.

A contribuição do presente estudo para a literatura do tema se refere a possibilidade de as estimativas serem utilizadas na elaboração de políticas ambientais que minimizem o desmatamento, principalmente com características preventivas em contraste com políticas reativas, tendo em vista que os alertas de desmatamento indicam áreas que necessitam de

atenção das autoridades fiscalizadoras, haja vista o desmatamento eminente. Por isso, os resultados obtidos podem ser utilizados como uma medida antecipada que auxilie a elaboração de políticas preventivas de combate ao desmatamento na Amazônia Legal, ao fornecer estimativas consistentes do número de alertas de desmatamento  $n$  períodos a frente.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. FONTE DE DADOS

A série utilizada se refere a área total (em km<sup>2</sup>) sob alerta de desmatamento na Amazônia Legal. A periodicidade dos dados é mensal, com início em agosto de 2015 e com término em dezembro de 2021, totalizando 77 observações. Seis observações de fora da amostra, de janeiro a junho de 2022, foram separadas para comparar com o modelo a ser ajustado, a fim de verificar a qualidade de ajuste das previsões realizadas pelo modelo. Cada observação foi obtida por meio do somatório dos alertas de desmatamento dos estados que compõem a Amazônia Legal<sup>5</sup>. As classes mapeadas que compõem o desmatamento no sistema DETER-B se referem ao desmatamento com solo exposto, desmatamento com vegetação e mineração.

#### 3.2. MODELO EMPÍRICO

A princípio, para fins deste estudo, a metodologia de Box e Jenkins é adotada, tendo em vista sua aplicabilidade em modelagens de séries temporais univariadas. Assim, busca-se encontrar o modelo que melhor se ajusta aos dados e que gere as melhores previsões, baseando-se nas observações presentes e passadas (ENDERS, 2015). Os procedimentos da metodologia Box e Jenkins são divididos em quatro etapas: identificação, estimação, verificação e previsão (MORETTIN; TOLOI, 2006; BUENO, 2012).

A finalidade da etapa de identificação é verificar qual modelo melhor descreve o comportamento da série (BUENO, 2012). A visualização do gráfico da série, apesar de ser um procedimento informal, oferece sugestões sobre a estacionariedade da série, se possui ou não tendência, sazonalidade e se pode haver quebras estruturais nos dados (ENDERS, 2015). Nesse aspecto, é preciso verificar a necessidade de transformação da série, a fim de tornar a série adequada para a análise, porém nesse estudo trabalha-se com a série sem transformações e, em terceiro lugar, determinar a ordem de integração da série.

O primeiro passo ao se trabalhar com séries de tempo consiste em determinar se a série possui ou não raiz unitária. Para isso, são aplicados os testes Augmented Dickey-Fuller (ADF) e Philips-Perron (PP), considerando uma equação com constante e sem tendência.<sup>6</sup> A hipótese nula dos testes é de que a série possui raiz unitária, ou seja, que a série é não estacionária em nível. Os critérios de informação de Akaike (AIC), Schwarz (SC) e Hannan-Quinn (HQ)<sup>7</sup> são utilizados para determinar o número de defasagens ideal. A escolha desse número leva em conta o número de defasagens necessário para eliminar a autocorrelação dos resíduos.

De maneira complementar, será realizado o teste de raiz unitária Zivot-Andrews, que permite identificar uma quebra estrutural na série, que pode ocorrer no intercepto, na tendência ou em ambos. Quando a série contém quebras estruturais, as estatísticas do teste de Dickey-Fuller são tendenciosas para a não rejeição de uma raiz unitária (ENDERS, 2015).

Ademais, é preciso testar a existência de raiz unitária sazonal antes de modelar a série. Segundo Lima (2015), a existência de raiz unitária sazonal é resultado da tendência estocástica nos picos sazonais (sazonalidade estocástica), indicando que a série é sazonalmente não

---

<sup>5</sup> A Amazônia Legal é composta pelos estados do Acre, Amazonas, Amapá, grande parte do Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Sua área possui cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup>, abrangendo cerca de 59% do território brasileiro.

<sup>6</sup> Ver Bueno (2012) para mais detalhes sobre os testes aplicados.

<sup>7</sup> Ver Enders (2015).

estacionária. Caso se verifique a presença de raiz unitária sazonal, a série a ser modelada precisa ser sazonalmente diferenciada. Desse modo, a fim de verificar a presença ou não de sazonalidade estocástica, ou seja, a mudança no padrão sazonal da série ao longo do período analisado, aplicar-se-á o Teste de HEGY<sup>8</sup>. A realização do teste de HEGY consiste em estimar a seguinte equação por Mínimos Quadrados Ordinários:

$$\begin{aligned} \varphi^*(B)y_{8,t} = & \pi_1 y_{1,t-1} + \pi_2 y_{2,t-1} + \pi_3 y_{3,t-1} + \pi_4 y_{3,t-2} + \pi_5 y_{4,t-1} + \pi_6 y_{4,t-2} + \\ & \pi_7 y_{5,t-1} + \pi_8 y_{5,t-2} + \pi_9 y_{6,t-1} + \pi_{10} y_{6,t-2} + \pi_{11} y_{7,t-1} + \pi_{12} y_{7,t-2} + \mu_t + \epsilon_t \end{aligned} \quad (1)$$

Em que  $y_{8,t} = (1 - B^{12})s_t$ , e  $\varphi^*(B)$  é uma função polinomial de B, na qual a suposição proposta no estudo se aplica<sup>9</sup>.

O teste de HEGY permite testar a hipótese da presença de raiz unitária regular (não sazonal) ao analisar o coeficiente  $\pi_1$ , enquanto os demais coeficientes se referem a raiz unitária sazonal. Desse modo, se  $\pi_1 = 0$ , a presença de raiz unitária não sazonal não pode ser rejeitada. Se  $\pi_2 = 0$ , a presença de uma raiz unitária sazonal não pode ser rejeitada. Ademais, se  $\pi_3 = \pi_4 = 0$ , a presença de uma raiz unitária sazonal também não pode ser rejeitada. Se  $\pi_i = \pi_{i+1} = 0$ , então a presença de uma raiz unitária sazonal não pode ser rejeitada para  $i = 5, 7, 9$  e  $11$ . Essa hipótese também pode ser testada através de um teste F conjunto, que tem distribuição não padronizada (RONDEROS, 2015). Em outras palavras, se pelo menos um dos coeficientes for igual a zero, ou seja,  $\pi_i = 0$ , com  $i = 2, 3, \dots, 12$ , haverá raiz unitária sazonal na série, indicando a presença de sazonalidade estocástica (LUTKEPOHL; KRATZIG, 2004).

Sob o aspecto da modelagem de uma série, conhecer as características da série estudada previamente é importante. Dessa forma, séries de tempo com periodicidade inferior a um ano, no caso deste estudo – mensal, os modelos da classe ARIMA comumente são capazes de exibir a correlação existente entre os valores consecutivos da série. Porém, a série pode apresentar autocorrelação entre instantes de tempo distantes entre si por  $s$  ou múltiplos de  $s$ , em que  $s$  é o número que caracteriza o período sazonal<sup>10</sup> (LIMA, 2015). A exemplo da série de tempo utilizada neste estudo, por volta do mês de julho há um pico em relação aos demais meses do ano, então a correlação entre os meses de julho dos anos da amostra possivelmente é alta. Nesse sentido, os modelos ARIMA sazonais, denominados SARIMA, cumprem a condição de modelar a correlação sazonal.

De um modo geral, os modelos SARIMA são uma combinação dos modelos ARIMA(p, d, q) e ARIMA(P, D, Q)s sazonal. Além dos componentes AR(p), MA(q) e d diferenciações consecutivas, os modelos SARIMA incorporam também os componentes autorregressivos sazonais, AR(P), média móvel sazonal, MA(Q), e D diferenciações sazonais necessárias caso a série apresente raiz unitária sazonal. Assim, têm-se a denominação do modelo multiplicativo, em que os fatores sazonais e não sazonais trabalham de forma multiplicativa, SARIMA (p, d, q)x(P, D, Q)s, sendo descrito por:

$$\phi(L)\Phi(L)(1 - L)^d(1 - L^s)^D Y_t = \theta(L)\Theta(L)\epsilon_t \quad (2)$$

O objetivo principal de modelar uma série de tempo é realizar previsões de seus valores futuros. Nessa perspectiva, os modelos ARIMA são apropriados para se obter previsões de curto prazo (MORETTIN; TOLOI, 2006). A identificação dos modelos candidatos a gerador da série passa pela análise da FAC e da FACP. Segundo Bueno (2012), o correlograma auxilia na identificação dos modelos ARIMA. Entretanto, pelo fato de a FAC apresentar um

<sup>8</sup> Introduzido por Hylleberg *et al.*, 1990) e, posteriormente, por (GHYSELS; LEE; NOH, 1994). Para o caso de séries mensais, os testes de raiz unitárias sazonais são discutidos em (FRANSES, 1990).

<sup>9</sup> Para mais detalhes sobre a notação ver (FRANSES, 1990) e (FRANSES, 1991).

<sup>10</sup> Nesse caso,  $s = 12$  para dados mensais.

comportamento em formato senoide, indicando a presença de sazonalidade na série, foram especificados modelos ARIMA sazonais candidatos a gerador da série. Seguindo a recomendação de Lütkepohl e Krätzig (2004), foram ajustados modelos de ordem baixa, no presente estudo foram dez, para identificar o de melhor ajustamento, se valendo dos critérios de informação de Akaike e Schwarz, em que o fundamento de escolha se dá pelos critérios de informação que apresentar menor valor.

Por isso, ao encontrar um modelo adequado, passa-se a última etapa, que consiste em realizar previsões. Nesse caso, há dois tipos de previsão possíveis, a estática e a dinâmica. A previsão estática se refere a previsão da observação atual utilizando o valor observado no período anterior e não o valor estimado. Isso significa que, para prever  $Y_{T+h+s}$  usa-se o valor  $Y_{T+h+s-1}$ . Enquanto a previsão dinâmica, utilizada nesse estudo, usa o valor estimado na observação anterior e não o valor observado na previsão da observação atual, ou seja, é uma previsão em cima de previsão. Isso significa que, para prever  $Y_{T+h+s}$  usa-se o valor  $\hat{Y}_{T+h+s-1} = E[Y_{T+h+s-1}]$ .

Para encontrar os valores estimados e previstos é possível utilizar duas estratégias: a primeira delas consiste em ajustar o modelo para as T observações da amostra, calcular os valores previstos pelo modelo e calcular as medidas de qualidade das previsões. A outra alternativa, adotada no presente estudo, considera uma amostra com T observações, no entanto, ajusta-se o modelo para T – H períodos, deixando de fora H observações. A partir do modelo ajustado, calcula-se as previsões para as H observações e as medidas de qualidade das previsões. Assim, obtém-se o desempenho preditivo do modelo para períodos fora da amostra, mensurado em relação aos valores observados da série.

Portanto, ao fazer previsões com o modelo estimado para um período que se dispõe dos dados, existem mecanismos capazes de avaliar a qualidade das previsões, a fim de validar as previsões e conferir robustez ao modelo. Duas medidas são utilizadas para avaliar a qualidade da previsão: Raiz Quadrada do Erro Quadrado Médio (RQEQM) e Erro Absoluto Médio (EAM), especificadas como:

$$RQEQM = \sqrt{\sum_{t=T+1}^{T+h} \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)^2}{h}} \quad \text{e} \quad EAM = \sum_{t=T+1}^{T+h} \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{h}$$

Ambas medidas se valem de valores menores para garantir a qualidade das previsões dos modelos, isso significa que, quanto menores os coeficientes, melhor a performance preditiva do modelo.

#### 4. RESULTADOS

A figura 1 apresenta o comportamento a área total (em km<sup>2</sup>) sob alerta de desmatamento na Amazônia Legal entre agosto de 2015 e dezembro de 2021. Nota-se que o comportamento da série sugere a presença de sazonalidade estocástica, à medida que ocorrem picos nos meses intermediários dos anos e esses picos mudam de padrão a partir da segunda metade da amostra. No entanto, para verificar a ordem de integração da série foram aplicados testes de raiz unitária.

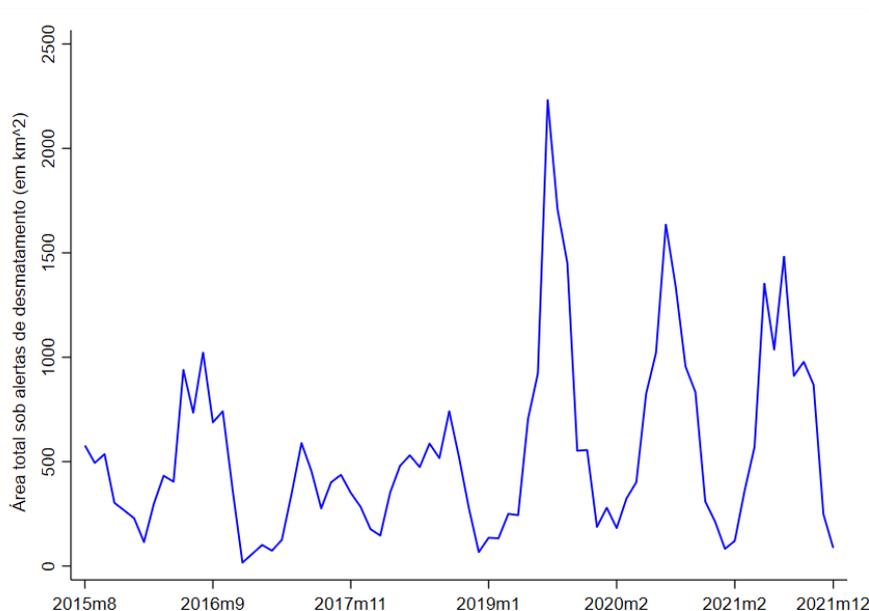


Figura 1: Área total (em  $km^2$ ) sob alerta de desmatamento na Amazônia Legal.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do TerraBrasilis

A análise de séries de tempo exige que seja verificada presença ou não de raiz unitária. Para isso, ao observar o correlograma da série em nível, a Função de Autocorrelação Parcial apresenta um truncamento na terceira defasagem, indicando uma ordem baixa do componente autorregressivo (AR), que é característica de uma série estacionária. No entanto, a Função de Autocorrelação (FAC) apresenta um comportamento senoidal amortecido, sugerindo a presença de sazonalidade.

Nesse sentido, os critérios de informação de Akaike (AIC), Schwarz (SC) e Hannan-Quinn (HQ) obtidos indicam que sejam utilizadas 3 defasagens. Desse modo, os testes Augmented Dickey- Fuller (ADF) e Philips-Perron (PP) foram aplicados considerando 3 defasagens. A tabela 1 abaixo apresenta os resultados dos testes:

**Tabela 1** - Testes de raiz unitária

Série	Augmented Dickey-Fuller (ADF)		PP	
	Defasagem	Valor do teste	Defasagem	Valor do teste
$\acute{a}rea_t$	3	-5.010 ***	3	-3.728***

Fonte: Elaboração própria

Nota: \*\*\* é significativa a 1%, \*\* a 5% e \* a 10%

A hipótese nula dos testes considera que há raiz unitária na série, isto é, a série é não estacionária. Os resultados apresentados indicam que é possível rejeitar a hipótese nula de presença de raiz unitária, portanto, a série é estacionária em nível. Em seguida, a partir da observação da mudança de padrão sazonal no gráfico da série, foi aplicado o teste de raiz unitária Zivot-Andrews, que permite uma quebra estrutural na série. Como data de ocorrência da quebra estrutural, o software Stata definiu o mês de maio de 2019. Tal escolha pode ser justificada pelo enfraquecimento das políticas no combate ao desmatamento somado a intensificação do discurso em favor deterioração de instrumentos de política ambiental, em razão, sobretudo, da política ambiental mais favorável ao desmatamento na esteira da eleição de Presidente da República em outubro de 2018. A tabela 2 abaixo apresenta o teste de raiz unitária sob mudança estrutural:

**Tabela 2** - Teste de raiz unitária sob mudança estrutural

Raiz Unitária com Break Test		
Série	Defasagem	Valor do teste
$\acute{a}rea_t$	2	-7.125 ***

Fonte: Elaboração própria

Nota: \*\*\* é significativa a 1%, \*\* a 5% e \* a 10%

Como a estatística do teste foi estatisticamente significativa a 1% de significância, é possível rejeitar a hipótese nula de que a série possui raiz unitária, ao levar em conta a existência de mudança estrutural, portanto, a série é estacionária em nível. Nessa perspectiva, para o presente estudo, a não inclusão explícita de quebra estrutural não diminuiu o poder dos testes ADF e PP, de modo que os mesmos fornecessem conclusões equivalentes do teste de raiz unitária sob quebra estrutural.

Em seguida, foi verificada a presença de sazonalidade estocástica na série por meio do Teste de HEGY, à medida que o correlograma analisado anteriormente sugere a presença de sazonalidade. Os resultados do Teste de HEGY são apresentados na tabela 3:

**Tabela 3:** Teste de HEGY

$\pi_i$	P-valor simulado
$\pi_1$	0.6945
$\pi_2$	0.1639
$\pi_3 = \pi_4$	0.0000
$\pi_5 = \pi_6$	0.0002
$\pi_7 = \pi_8$	0.0122
$\pi_9 = \pi_{10}$	0.2957
$\pi_{11} = \pi_{12}$	0.8308

Fonte: Resultados da pesquisa

De acordo com as estatísticas obtidas, o valor de  $\pi_1$  foi diferente de zero, então é possível rejeitar a hipótese nula de existência de raiz unitária não sazonal, portanto, a série é estacionária, reforçando os resultados obtidos por meio dos testes ADF, PP e com quebra estrutural. Por outro lado, é possível observar que  $\pi_3 = \pi_4 = 0.0000$ , então a presença de uma raiz unitária sazonal não pode ser rejeitada, indicando que a série possui sazonalidade estocástica. Nesse caso, a raiz unitária indica um ciclo sazonal quadrimestral, ou seja, três ciclos de quatro meses. Tal resultado tem uma implicação política importante. Um choque que ocorra em determinado mês tem o potencial de se perpetuar de forma recorrente no mesmo mês dos anos seguintes. Neste sentido, ao interpretar novamente a Figura 1, percebe-se que houve um choque no meio de ano de 2019 que mudou o padrão sazonal de desmatamento na Amazônia Legal nos anos seguintes.

A tabela 4 contém as dez especificações estimadas, como também os critérios de avaliação do melhor modelo de previsão:

**Tabela 4:** Modelos SARIMA estimados e critérios de qualidade

Especificação	RQEQM	EAM	AIC	BIC	Ljung-Box
SARIMA (0,0,2)(1,1,0) <sub>12</sub>	790.6686	459.5831	911.7001	922.572	0.8549
SARIMA (0,0,2)(1,1,1) <sub>12</sub>	771.8859	447.1776	910.336	923.3824	0.8416
SARIMA (1,0,2)(1,1,0) <sub>12</sub>	786.5312	451.8039	912.7486	925.7949	0.8299
SARIMA (3,0,0)(0,1,1) <sub>12</sub> *	786.5263	421.4857	916.6196	929.666	0.1822
SARIMA (3,0,0)(1,1,0) <sub>12</sub>	812.6252	450.4174	921.5215	934.5678	0.1061
SARIMA (2,0,2)(1,1,0) <sub>12</sub>	784.5879	458.2442	914.1439	929.3646	0.8382
SARIMA (3,0,1)(1,1,0) <sub>12</sub>	802.1747	456.90220	920.2545	935.4752	0.2856
SARIMA (1,0,2)(1,1,1) <sub>12</sub>	771.8637	440.9055	912.0172	927.2379	0.8521
SARIMA (3,0,0)(1,1,1) <sub>12</sub>	780.5974	433.1469	914.938	927.9844	0.2490
SARIMA (2,0,2)(1,1,1) <sub>12</sub>	770.3065	448.2039	913.3662	930.7613	0.8424

Nota: \* se refere à especificação melhor ajustada segundo os critérios de análise de previsão

Fonte: Resultados da pesquisa

A partir dos resultados descritos na tabela 4, a especificação que melhor se ajusta a série é o SARIMA (3,0,0)x(0,1,1)<sub>12</sub>. O termo (3,0,0) significa que há três termos autoregressivos não sazonais, também que não há um termo de médias móveis não sazonal e que a série não está em primeira diferença, de acordo com os testes de raiz unitária. Já o termo (0,1,1)<sub>12</sub> indica que não há um termo autoregressivo sazonal, que há um termo de médias móveis sazonal e que a série foi diferenciada sazonalmente. Este modelo é denominado SARIMA multiplicativo, à medida que ocorre a interação multiplicativa entre os fatores sazonais e não sazonais.

Tratando-se de modelos de previsão, os valores da RQEQM e EAM indicam a qualidade das previsões. Nesse sentido, considerando sobretudo o menor valor do EAM dentre as especificações estimadas, a escolha da especificação citado é adequada. Portanto, os resultados encontrados sugerem que o modelo SARIMA (3,0,0)x(0,1,1)<sub>12</sub> fornece as melhores previsões para a série da área total sob alerta de desmatamento na Amazônia Legal, uma vez que apresentou menor EAM em comparação as demais especificações. Além disso, ao verificar as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial da série prevista, observa-se que os resíduos estão bem ajustados, pois se encontram dentro dos limites do intervalo de confiança, o que é corroborado pelo teste de Ljung-Box, evidenciado que os resíduos são do tipo ruído branco.

Por último, a tabela 5 apresenta as previsões para a área sob alerta de desmatamento na Amazônia Legal seis períodos a frente, de janeiro de 2022 a junho de 2022, se valendo da especificação SARIMA (3,0,0)x(0,1,1)<sub>12</sub>. Para fins de comparação, os valores observados da série também estão expostos na tabela abaixo:

**Tabela 5:** Valores previstos do modelo SARIMA (3,0,0)x(0,1,1)<sub>12</sub>

Mês	Observado	Previsto	% Erro
Janeiro/2022	426.96	153.65	-64.01
Fevereiro/2022	196.2	252.97	28.94
Março/2022	309.76	441.38	42.49
Abril/2022	1017.49	609.24	-40.12
Maior/2022	890.19	1132.64	27.24
Junho/2022	1108.43	1095.58	-1.16

Fonte: Resultados da pesquisa

A partir dos valores previstos, é possível notar que as estimativas apresentam diferenças significativas em relação ao valor observado, exceto a previsão para o mês de junho de 2022, a qual se mostrou muito próxima do valor observado. Graficamente, ao observar a combinação entre os gráficos da série observada e da série estimada, é possível ter um panorama visual das projeções, além de sugerir possíveis explicações para as diferenças entre os valores previstos e observados. A figura 2 abaixo apresenta o gráfico das duas séries combinadas:

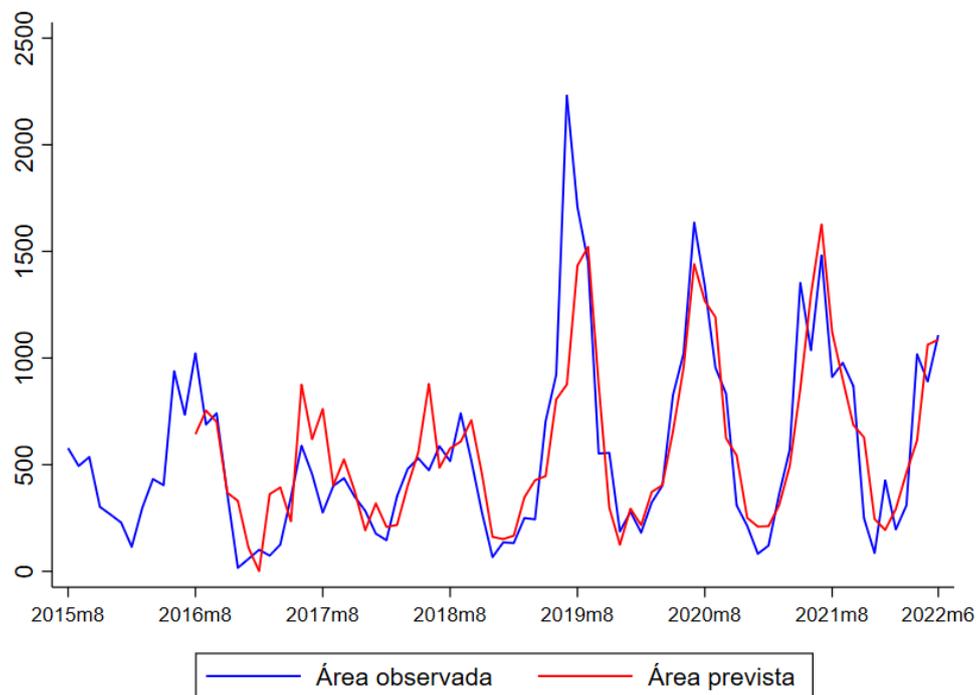


Figura 2: Área (em  $km^2$ ) sob alerta de desmatamento observada e prevista

Ao observar a figura 2, dois apontamentos são relevantes. O primeiro deles diz respeito ao comportamento da série entre maio e junho de 2021 e 2022, em que houve uma queda repentina dos valores observados nos respectivos anos, mas que não foram captados pelo modelo de previsão. Por outro lado, o mês de janeiro de 2022 apresentou um pico significativo de alertas de desmatamento em comparação aos demais anos da amostra, que também não foi captado pelo modelo. Por último, após a mudança estrutural identificada na série em maio de 2019, o pico anual de alertas de desmatamento tem apresentado uma suavização sutil nesses valores nos anos subsequentes. Ademais, o erro de previsão para o pico no meio do ano de 2019 indica que aquele pico foi um evento inesperado, contudo, os picos observados nos anos subsequentes nos mesmos meses seriam facilmente previstos dentro do modelo.

No entanto, é possível observar que a série prevista se ajusta bem no horizonte de curto prazo proposto, que são seis meses. Então, o modelo estimado cumpre com o objetivo de fazer uma previsão dos dados no curto prazo, dispondo dos dados nesse mesmo período fora da amostra, para fins de comparação. No entanto, alguns valores destoantes podem interferir na qualidade da previsão, a exemplo do pico de área sob alerta de desmatamento em junho de 2019, próximo ao período em que foi identificada a quebra estrutural. Dessa maneira, ao identificar picos de sazonalidade significativos, sobretudo padrões estocásticos ao longo da série, é preciso que as motivações por trás dessas mudanças sejam investigadas mais a fundo, a fim de compreender o fenômeno por trás desses valores e, conseqüentemente, encontrar resultados mais robustos. Assim, os formuladores de política pública conseguem antecipar os picos de alerta de desmatamento com certa antecedência, podendo ter tempo para planejar ações apropriadas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preservação da Amazônia Legal representa um desafio constante para o Brasil e requer ações coordenadas e efetivas das instituições públicas de preservação junto ao governo federal. Nesse sentido, utilizar modelos de previsão para prever a área sob alertas de desmatamento é uma ferramenta importante, pois a sua utilização, sobretudo no curto prazo, possibilita a ação antecipada da fiscalização em áreas que estão em estágio inicial de desmatamento e que foram captadas pelo sistema de monitoramento via satélite. Sendo assim, em conjunto com demais políticas ambientais, a utilização do sistema de avisos de desmatamento poder representar uma ferramenta eficaz de prevenção ao desmatamento, como também pode ser útil na elaboração de políticas públicas vinculadas a redução da perda florestal.

A respeito das limitações deste estudo, a base de dados utilizada ser recente e não possuir um horizonte de tempo longo, impossibilita a comparação entre períodos que tiveram cenários ambientais, climáticos ou econômicos similares, como períodos de implementação de políticas ou de instabilidade institucional. Contudo, a análise desagregada por estados é um complemento importante, à medida que os resultados do monitoramento estadual podem ser utilizados na elaboração de políticas preventivas ao desmatamento focalizadas por estados.

Ademais, há outras possibilidades de análise envolvendo áreas sob alertas de desmatamento no Brasil, não apenas da Amazônia Legal, mas também sobre o Cerrado. Uma verificação possível se refere a análise da volatilidade, bastante aplicada em séries financeiras. Nessa ótica, é possível investigar a variabilidade dos alertas de desmatamento através dos modelos da classe ARCH/GARCH, os quais permitem analisar a persistência dos choques e presença de efeitos assimétricos entre choques positivos e negativos, por exemplo, entre políticas de combate ao desmatamento e ações temerárias de instabilidade institucional.

Portanto, o modelo de previsão que melhor se ajusta aos dados atinge as propostas do trabalho, pois os valores encontrados para os seis primeiros meses de 2022 apresentaram comportamento similar aos valores observados, sobretudo ao analisar as duas séries combinadas. Então, a partir dos resultados encontrados e evidências de outros estudos, modelos de previsão podem ser instrumentos preventivos eficazes a ser utilizado para minimizar, em primeiro lugar, os alertas de desmatamento e, subsequentemente, as áreas desmatadas na Amazônia Legal.

## REFERÊNCIAS

AMIGO, I. When will the Amazon hit a tipping point? *Nature*, v. 578, n. 7796, p. 505–508, 27 fev. 2020. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00508-4>.

ARIMA, E. Y.; BARRETO, P.; ARAÚJO, E.; SOARES-FILHO, B. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. *Land Use Policy*, v. 41, p. 465–473, 1 nov. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.06.026>.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. DETERring Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement, p. 53, 2019.

BENTO DE SOUZA FERREIRA FILHO, J.; RIBERA, L.; HORRIDGE, M. Deforestation Control and Agricultural Supply in Brazil. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 97, n. 2, p. 589–601, 2015. <https://doi.org/10.1093/ajae/aav004>.

BOWMAN, M. S.; SOARES-FILHO, B. S.; MERRY, F. D.; NEPSTAD, D. C.; RODRIGUES, H.; ALMEIDA, O. T. Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: A spatial analysis

of the rationale for beef production. **Land Use Policy**, v. 29, n. 3, p. 558–568, 1 jul. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.09.009>.

BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C. de; MARQUES, R. W. da C. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. **Economia Aplicada**, v. 10, p. 249–266, jun. 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-80502006000200006>.

BRASIL. Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal. Brasília: Presidência da Casa Civil, 2004.

BRITO, B.; BARRETO, P.; BRANDÃO, A.; BAIMA, S.; GOMES, P. H. Stimulus for land grabbing and deforestation in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 6, p. 064018, jun. 2019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1e24>.

BURGESS, R.; COSTA, F.; OLKEN, B. A. The Brazilian Amazon's Double Reversal of Fortune. 7 ago. 2019. DOI 10.31235/osf.io/67xg5. Disponível em: <https://osf.io/preprints/socarxiv/67xg5/>. Acesso em: 9 jul. 2022.

CASTELO, T. B.; ADAMI, M.; ALMEIDA, C. A.; DE ALMEIDA, O. T. GOVERNOS E MUDANÇAS NAS POLÍTICAS DE COMBATE AO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA. v. 28, n. 1, p. 24, 2018.

COELHO-JUNIOR, M. G.; VALDIONES, A. P.; SHIMBO, J. Z.; SILGUEIRO, V.; ROSA, M.; MARQUES, C. D. L.; OLIVEIRA, M.; ARAÚJO, S.; AZEVEDO, T. Unmasking the impunity of illegal deforestation in the Brazilian Amazon: a call for enforcement and accountability. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 4, p. 041001, mar. 2022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5193>.

CONTINI, E.; GASQUES, J. G.; LEONARDI, R. B. de A.; BASTOS, E. T. Evolução recente e tendências do agronegócio. **Revista de Política Agrícola**, v. 15, n. 1, p. 5–28, 2006.

COSTA, A. da S.; QUEIROZ, J. C. B.; CHERMONT, L. S.; LAMEIRA, O. A.; SOUZA, E. B. de; DINIZ, M. B.; MOURA, H. P.; COSTA, D. L. C. Deforestation forecasts in the Legal Amazon using intervention models. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e8710413787–e8710413787, 1 abr. 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13787>.

DINIZ, C. G.; SOUZA, A. A. de A.; SANTOS, D. C.; DIAS, M. C.; LUZ, N. C. da; MORAES, D. R. V. de; MAIA, J. S.; GOMES, A. R.; NARVAES, I. da S.; VALERIANO, D. M.; MAURANO, L. E. P.; ADAMI, M. DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 7, p. 3619–3628, jul. 2015. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2437075>.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. Fourth edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2015.

FAO. **Global Forest Resources Assessment 2020: Main report**. Rome, Italy: FAO, 2020. DOI 10.4060/ca9825en. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9825en>. Acesso em: 11 jul. 2022.

FEARNSIDE, P. M. Como sempre, os negócios: O ressurgimento do desmatamento na Amazônia brasileira. **Yale Environment**, v. 360, p. 18, 2017.

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, p. 91–108, mar. 2015. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005301005>.

FERREIRA, M. D. P.; FÉRES, J. G. Farm size and Land use efficiency in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 99, p. 104901, 1 dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104901>.

FILHO, V.; RIBEIRO, J. E. Expansão da fronteira agrícola no Brasil: Desafios e perspectivas. Texto para discussão nº 2223. IPEA, Brasília & Rio de Janeiro, p. 36. 2016.

FINER, M.; NOVOA, S.; WEISSE, M. J.; PETERSEN, R.; MASCARO, J.; SOUTO, T.; STEARNS, F.; MARTINEZ, R. G. Combating deforestation: From satellite to intervention. **Science**, v. 360, n. 6395, p. 1303–1305, 22 jun. 2018. <https://doi.org/10.1126/science.aat1203>.

FRANSES, P. H. Seasonality, non-stationarity and the forecasting of monthly time series. **International Journal of Forecasting**, v. 7, n. 2, p. 199–208, 1 ago. 1991. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(91\)90054-Y](https://doi.org/10.1016/0169-2070(91)90054-Y).

FRANSES, P. H. **TESTING FOR SEASONAL UNIT ROOTS IN MONTHLY DATA**. Econometric Institute Archives, n. 272393. [S. l.]: Erasmus University Rotterdam, 1990. Disponível em: <https://econpapers.repec.org/paper/agseureia/272393.htm>. Acesso em: 12 jul. 2022.

GANDOUR, C. Políticas Públicas para Proteção da Floresta Amazônica: O que Funciona e como Melhorar. **Amazônia 2030**, Climate Policy Initiative/PUC-Rio, 2021.

GHYSELS, E.; LEE, H. S.; NOH, J. Testing for unit roots in seasonal time series: Some theoretical extensions and a Monte Carlo investigation. **Journal of Econometrics**, v. 62, n. 2, p. 415–442, 1 jun. 1994. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)90030-2).

HANSEN, M. C.; STEHMAN, S. V.; POTAPOV, P. V.; LOVELAND, T. R.; TOWNSHEND, J. R.; DEFRIES, R. S.; PITTMAN, K. W.; ARUNARWATI, B.; STOLLE, F.; STEININGER, M. K.; CARROLL, M.; DIMICELI, C. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 27, p. 9439–9444, 8 jul. 2008. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804042105>.

HYLLEBERG, S.; ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J.; YOO, B. S. Seasonal integration and cointegration. **Journal of Econometrics**, v. 44, n. 1, p. 215–238, 1 abr. 1990. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(90\)90080-D](https://doi.org/10.1016/0304-4076(90)90080-D).

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Projetos e Pesquisa - Deter. 2019. Disponível em: [http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/deter.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/deter.php).

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Brasileira por Satélite. 2020. Disponível em: [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates)

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. TerraBrasilis - PRODES (Desmatamento), 2022. Disponível em: [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/increments](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/increments).

KALAMANDEEN, M.; GLOOR, E.; MITCHARD, E.; QUINCEY, D.; ZIV, G.; SPRACKLEN, D.; SPRACKLEN, B.; ADAMI, M.; ARAGÃO, L. E. O. C.; GALBRAITH, D. Pervasive Rise of Small-scale Deforestation in Amazonia. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1600, 25 jan. 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19358-2>.

KOCH, N.; ERMGASSEN, E. K. zu; WEHKAMP, J.; FILHO, F. J. O.; SCHWERHOFF, G. Agricultural productivity and forest conservation: evidence from the brazilian amazon. *American Journal of Agricultural Economics*, Wiley Online Library, v. 101, n. 3, p. 919–940, 2019.

KOHLHEPP, G. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, p. 37–61, ago. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000200004>.

LIMA, J. E. Curso básico de análise e previsão de séries temporais. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Economia Rural, Viçosa, 2015.

LUTKEPOHL, H.; KRATZIG, M. *APPLIED TIME SERIES ECONOMETRICS*, p. 350, 2004.

MALINGREAU, J. P.; EVA, H. D.; DE MIRANDA, E. E. Brazilian Amazon: A Significant Five Year Drop in Deforestation Rates but Figures are on the Rise Again. **Ambio**, v. 41, n. 3, p. 309–314, mar. 2012. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0196-7>.

MATAVELI, G.; DE OLIVEIRA, G.; CHAVES, M. E. D.; DALAGNOL, R.; WAGNER, F. H.; IPIA, A. H. S.; SILVA-JUNIOR, C. H. L.; ARAGÃO, L. E. O. C. Science-based planning can support law enforcement actions to curb deforestation in the Brazilian Amazon. **Conservation Letters**, v. n/a, n. n/a, p. e12908, [s. d.]. <https://doi.org/10.1111/conl.12908>.

MELLO, N. G. R. de; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, , p. 108–129, abr. 2017. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i66p108-129>.

MOFFETTE, F.; ALIX-GARCIA, J.; SHEA, K.; PICKENS, A. H. The impact of near-real-time deforestation alerts across the tropics. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 2, p. 172–178, fev. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00956-w>.

MONTIBELLER, B.; KMOCH, A.; VIRRO, H.; MANDER, Ü.; UUEMAA, E. Increasing fragmentation of forest cover in Brazil's Legal Amazon from 2001 to 2017. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 5803, 2 abr. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62591-x>.

MORETTIN, P. A. e TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Egard Blucher, 2006.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DIGIANO, M.; SHIMADA, J.; SEROA DA MOTTA, R.; ARMIJO, E.; CASTELLO, L.; BRANDO, P.; HANSEN, M. C.; MCGRATH-HORN, M.; CARVALHO, O.; HESS, L. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and

soy supply chains. **Science (New York, N.Y.)**, v. 344, n. 6188, p. 1118–1123, 6 jun. 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1248525>.

PIERANTI, O. P. e SILVA, L. H. R. A questão amazônica e a política de defesa nacional. *Cadernos EBAPE. BR*, v. 5, n. 1, p. 1-11, 2007.

REYDON, B. P.; FERNANDES, V. B.; TELLES, T. S. Land governance as a precondition for decreasing deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 94, p. 104313, 1 maio 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104313>.

RONDEROS, N. Seasonal Unit Root Test. *Eviews add-in*. 2015.

ROSA, I. M. D.; SOUZA JR., C.; EWERS, R. M. Changes in Size of Deforested Patches in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 26, n. 5, p. 932–937, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01901.x>.

SPAROVEK, G.; REYDON, B. P.; GUEDES PINTO, L. F.; FARIA, V.; DE FREITAS, F. L. M.; AZEVEDO-RAMOS, C.; GARDNER, T.; HAMAMURA, C.; RAJÃO, R.; CERIGNONI, F.; SIQUEIRA, G. P.; CARVALHO, T.; ALENCAR, A.; RIBEIRO, V. Who owns Brazilian lands? **Land Use Policy**, v. 87, p. 104062, 1 set. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104062>.

STABILE, M. C.; GUIMARÃES, A. L.; SILVA, D. S.; RIBEIRO, V.; MACEDO, M. N.; COE, M. T.; PINTO, E.; MOUTINHO, P.; ALENCAR, A. Solving brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing amazon deforestation. **Land Use Policy**, Elsevier, v. 91, p. 104362, 2020.

TACCONI, L., RODRIGUES, R. J., & MARYUDI, A. Law enforcement and deforestation: Lessons for Indonesia from Brazil. **Forest Policy and Economics**, v.108, 2019.

TerraBrasilis. Sobre o TerraBrasilis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2022. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/sobre/>. Acesso em: 7 Jul. 2022.

TRANCOSO, R. Changing Amazon deforestation patterns: urgent need to restore command and control policies and market interventions. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 4, p. 041004, abr. 2021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4c>.

VALDES, C.; HJORT, K.; SEELEY, R. Brazil's Agricultural Competitiveness: Recent Growth and Future Impacts Under Currency Depreciation and Changing Macroeconomic Conditions. , p. 43, 2020.

VALE, M. M.; BERENGUER, E.; ARGOLLO DE MENEZES, M.; VIVEIROS DE CASTRO, E. B.; PUGLIESE DE SIQUEIRA, L.; PORTELA, R. de C. Q. The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil. **Biological Conservation**, v. 255, p. 108994, 1 mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108994>.